This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.

+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.

+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.

+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

A propos de ce livre

Ceci est une copie numérique d'un ouvrage conservé depuis des générations dans les rayonnages d'une bibliothèque avant d'être numérisé avec précaution par Google dans le cadre d'un projet visant à permettre aux internautes de découvrir l'ensemble du patrimoine littéraire mondial en ligne.

Ce livre étant relativement ancien, il n'est plus protégé par la loi sur les droits d'auteur et appartient à présent au domaine public. L'expression "appartenir au domaine public" signifie que le livre en question n'a jamais été soumis aux droits d'auteur ou que ses droits légaux sont arrivés à expiration. Les conditions requises pour qu'un livre tombe dans le domaine public peuvent varier d'un pays à l'autre. Les livres libres de droit sont autant de liens avec le passé. Ils sont les témoins de la richesse de notre histoire, de notre patrimoine culturel et de la connaissance humaine et sont trop souvent difficilement accessibles au public.

Les notes de bas de page et autres annotations en marge du texte présentes dans le volume original sont reprises dans ce fichier, comme un souvenir du long chemin parcouru par l'ouvrage depuis la maison d'édition en passant par la bibliothèque pour finalement se retrouver entre vos mains.

Consignes d'utilisation

Google est fier de travailler en partenariat avec des bibliothèques à la numérisation des ouvrages appartenant au domaine public et de les rendre ainsi accessibles à tous. Ces livres sont en effet la propriété de tous et de toutes et nous sommes tout simplement les gardiens de ce patrimoine. Il s'agit toutefois d'un projet coûteux. Par conséquent et en vue de poursuivre la diffusion de ces ressources inépuisables, nous avons pris les dispositions nécessaires afin de prévenir les éventuels abus auxquels pourraient se livrer des sites marchands tiers, notamment en instaurant des contraintes techniques relatives aux requêtes automatisées.

Nous vous demandons également de:

+ *Ne pas utiliser les fichiers à des fins commerciales* Nous avons conçu le programme Google Recherche de Livres à l'usage des particuliers. Nous vous demandons donc d'utiliser uniquement ces fichiers à des fins personnelles. Ils ne sauraient en effet être employés dans un quelconque but commercial.

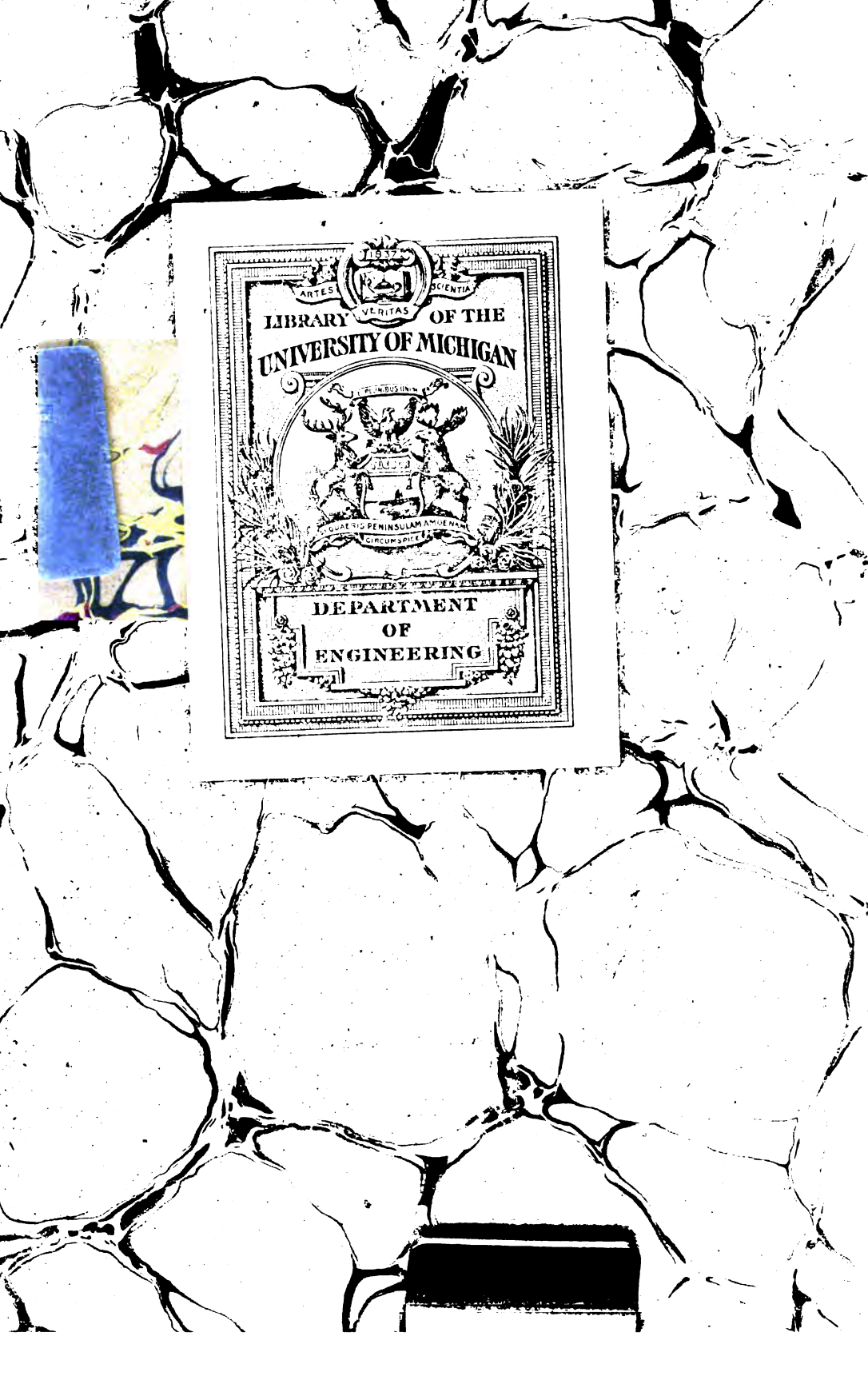
+ *Ne pas procéder à des requêtes automatisées* N'envoyez aucune requête automatisée quelle qu'elle soit au système Google. Si vous effectuez des recherches concernant les logiciels de traduction, la reconnaissance optique de caractères ou tout autre domaine nécessitant de disposer d'importantes quantités de texte, n'hésitez pas à nous contacter. Nous encourageons pour la réalisation de ce type de travaux l'utilisation des ouvrages et documents appartenant au domaine public et serions heureux de vous être utile.

+ *Ne pas supprimer l'attribution* Le filigrane Google contenu dans chaque fichier est indispensable pour informer les internautes de notre projet et leur permettre d'accéder à davantage de documents par l'intermédiaire du Programme Google Recherche de Livres. Ne le supprimez en aucun cas.

+ *Rester dans la légalité* Quelle que soit l'utilisation que vous comptez faire des fichiers, n'oubliez pas qu'il est de votre responsabilité de veiller à respecter la loi. Si un ouvrage appartient au domaine public américain, n'en déduisez pas pour autant qu'il en va de même dans les autres pays. La durée légale des droits d'auteur d'un livre varie d'un pays à l'autre. Nous ne sommes donc pas en mesure de répertorier les ouvrages dont l'utilisation est autorisée et ceux dont elle ne l'est pas. Ne croyez pas que le simple fait d'afficher un livre sur Google Recherche de Livres signifie que celui-ci peut être utilisé de quelque façon que ce soit dans le monde entier. La condamnation à laquelle vous vous exposeriez en cas de violation des droits d'auteur peut être sévère.

À propos du service Google Recherche de Livres

En favorisant la recherche et l'accès à un nombre croissant de livres disponibles dans de nombreuses langues, dont le français, Google souhaite contribuer à promouvoir la diversité culturelle grâce à Google Recherche de Livres. En effet, le Programme Google Recherche de Livres permet aux internautes de découvrir le patrimoine littéraire mondial, tout en aidant les auteurs et les éditeurs à élargir leur public. Vous pouvez effectuer des recherches en ligne dans le texte intégral de cet ouvrage à l'adresse `http://books.google.com`


ARTES
VERITAS
SCIENTIA
LIBRARY OF THE
UNIVERSITY OF MICHIGAN
DEPARTMENT
OF
ENGINEERING

TA
2
S68
ENGINEERING
LIBRARY

SOCIÉTÉ

DES

INGÉNIEURS CIVILS

ANNÉE 1891

SOCIÉTÉ

DES

INGÉNIEURS CIVILS

ANNÉE 1891

SOCIÉTÉ

DES

INGÉNIEURS CIVILS

ANNÉE 1891

La Société n'est pas solidaire des opinions émises par ses Membres dans les discussions, ni responsable des Notes ou Mémoires publiés dans le ***Bulletin***.

MÉMOIRES

ET

COMPTE RENDU DES TRAVAUX

DE LA

SOCIÉTÉ

DES

INGÉNIEURS CIVILS

FONDÉE LE 4 MARS 1848

RECONNUE D'UTILITÉ PUBLIQUE PAR DÉCRET DU 22 DÉCEMBRE 1860

ANNÉE 1891

PREMIER VOLUME

PARIS

SIÈGE DE LA SOCIÉTÉ

10, CITÉ ROUGEMONT, 10

—

1891

MÉMOIRES

ET

COMPTE RENDU DES TRAVAUX

DE LA

SOCIÈTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS

JANVIER 1891

N° 1

Sommaire de la séance du mois de janvier 1891 :

1° *Installation des membres du Bureau et du Comité.* Discours de MM. V. Contamin et E. Polonceau (séance du 16 janvier), page 4;

2° *Décès* de MM. A. Cahen, O. Geoffroy, C. Laurens, A.-J.-M. Saillard, V. Fournier (séance du 16 janvier), page 5 ;

3° *Décorations et nominations* (séance du 16 janvier), page 18;

4° *Don* de titres provenant de l'emprunt de 75 000 francs (séance du 16 janvier), page 18;

5° *Lettre* de M. de Coëne (séance du 16 janvier), page 18;

6° *Concours pour la transmission et la distribution d'une force motrice de 125 000 chevaux-vapeur aux chutes du Niagara* (séance du 16 janvier), page 18;

Pendant le mois de janvier la Société a reçu :

31925 — De M. E. de Churruca. *Mémoria que manisfesta el estado y progreso de las Obras de mejora de la Ria de Bilbao y cuenta de gastos é ingresos durante el año economico de 1889-1890.* Petit in-4 Bilbao Juan E. Delmas, 1890, 3 exemplaires.

31926 — Du Ministère des Travaux Publics. *Statistique des chemins de fer français au 31 décembre 1887, 1re partie.* Paris, Imprimerie Nationale, 1890.

163383

31927 à 31950 — De M. L. Franck (M. de la S.). 7 photographies de diverses vues de *la ligne de Tramways de Paris à Saint-Germain.* 18 autres photographies de différentes lignes de *Tramways exploitées par les locomotives sans foyer.* (Système Lamm et Franck.)

31951 — De M. H. Hervegh (M. de la S.). *Das K.-K. Quecksilberwerk zu Idria in Krain.* Grand in-4 de 65 pages. Wien, Waldheim, 1881.

31952 — De M. A. Vanderpol. *Ventilation des bâtiments et édifices éclairés par le gaz.*

31953 — De M. A. Witz. *Moteur à gaz simple système E. Delamarre-Debouteville et Malandrin.* Procès-verbal d'expériences. Petit in-4 de 15 pages. Paris, L. Courtier, 1890.

31954 — De M. le vicomte de Saint-Pol. *Enquête sur les cépages américains faite en 1890 sur l'initiative de la Section de viticulture.* In-8 de 31 pages. Paris, Société des agriculteurs de France, 1890.

31955 — De M. J. Coquillion. *Recherches sur une nouvelle méthode d'analyse eudiométrique.* Petit in-8 de 75 pages. Rouen, E. Cagniard, 1889.

31956 — De M. J. Diamant. *Utilisation de la force motrice des marées.* In-8 de 20 pages avec planches. Paris, Baudry et Cie, 1890.

31957 — De M. Ch. P. Sandberg (M. de la S.). *On steel rails considered chemically and mechanically.* Petit in-8 de 59 pages. London Institution of civil Engineers, 1890. 7 exemplaires.

31958 — De M. N. Bélelubsky (M. de la S.). *Protokolle der III conferenz zur Vereinbarung einheitlicher Prüfungs methoden für Bau und Constructions Matérialen.* Grand in-8 de 18 pages Berlin, 1890.

31959 — De l'American Society of Méchanical Engineers. *Transactions.* Volume XI, 1890, New-York.

31960 — De M. A. Gouvy (M. de la S.). *Das Berg-und Hüttenwesen auf der Pariser Weltausstellung 1889.* Petit in-8 de 52 pages, avec planches. Wien Manz'scze, 1890.

31961 — De la Société nationale d'agriculture de France. *Mémoires.* Tome CXXXIII, in-8. Paris, G. Chamerot, 1890.

31962 et 31963 — Du Ministère du Commerce, de l'Industrie et des Colonies. *Conférences sur l'Exposition universelle de 1889.* Tomes I et II. Grand in-8. Paris, Imprimerie Nationale.

31964 à 31976 — Du même. *Congrès internationaux de 1889. Procès-verbaux sommaires.* 14 brochures. Grand in-8. Paris, Imprimerie Nationale, 1890.

31977 — De la Société Industrielle de Rouen. *Association pour prévenir les accidents de fabrique, Assemblée générale du 11 avril 1890.* Grand in-8 de 46 pages avec planches. Rouen, E. Deshayes et Cie, 1890.

31978 — De M. Ch. Hanrez. *Note sur les conventions des chemins de fer régissant en Europe l'échange réciproque du matériel roulant.* Grand in-8 de 114 pages. Bruxelles, Imprimerie des Travaux publics, 1890.

31979 — De M. F. Paponot (M. de la S.). *Canal de Panama. Lettre à M. Lemoine, administrateur de la Maison Cail en réponse à sa brochure sur le projet de l'Ingénieur Sébillot pour le transport des navires sur voie ferrée.* In-4 de 38 pages autog. 1890. 2 exemplaires.

Les membres nouvellement admis pendant le mois de janvier sont :

Comme membres sociétaires :

MM. Ch.-F. Boileau,	présenté par MM.	Carimantrand, Lévi et Mallet.
H. Boulte,	—	Carimantrand, Lévi et Mallet.
J.-M.-J. Courau,	—	Rémaury, de Nansouty et P. Mahler.
J.-B.-G. Du Bousquet,	—	Contamin, Polonceau et Forest.
A. George,	—	Carénou, Lambert et Féraud.
A. Henriot,	—	Gallaud, Hauet et A. Berton.
E. Joncourt,	—	Appert, Henrivaux et Hauet.
E.-P.-M. L'Epine,	—	Chabrier, E. Pereire, Lencauchez.
F. Lobo Leite Pereira,		Eiffel, L. Arbey et F. Arbey.
H.-J.-A. Nayrolles,	—	Polonceau, Durant et Dutheil.

RÉSUMÉ

DES

PROCÈS-VERBAUX DES SÉANCES

DU MOIS DE JANVIER 1891

Séance du 16 Janvier 1891.

PRÉSIDENCE DE M. V. CONTAMIN.

La séance est ouverte à huit heures et demie.

M. V. CONTAMIN, Président sortant, prononce le discours suivant :

Mes chers Collègues,

Permettez-moi, avant de descendre de ce fauteuil, de vous renouveler l'expression de toute ma gratitude pour le très grand honneur que vous m'avez fait en me confiant des fonctions qui ont été remplies d'une manière si remarquable par les éminents et illustres ingénieurs qui m'y ont précédé. Les noms des: Flachat, Perdonnet, Petiet, Vuignier, Camille Polonceau, Callon, Tresca, Général Morin, Alcan, Nozo, Salvetat, Vuillemin, Yvon Villarceau, de Dion et Muller, pour ne parler que de ceux que nous avons eu la douleur de perdre, se trouvent associés à tant de découvertes et de progrès réalisés depuis un demi-siècle dans toutes les branches de notre industrie nationale, qu'on ne peut accepter les fonctions honorées de Président de notre Société que lorsqu'on a la conviction d'être soutenu dans l'accomplissement de sa mission par l'estime et la sympathie de tous ses collègues. *(Très bien! très bien!)* Ces témoignages, vous avez eu la bonté de me les prodiguer, j'en conserverai un ineffaçable souvenir et c'est de tout cœur que je vous en remercie. *(Applaudissements.)*

Les travaux de la quarante-troisième année de notre existence sont en tout point dignes de ceux accomplis les années précédentes. Nos recherches, études et discussions sur les améliorations à apporter à nos moyens de production, ainsi que dans nos relations sociales, sont appréciées et estimées, car elles aident à la marche en avant des différentes branches de notre activité nationale. Nous avons continué à grandir dans l'esprit public, et de tous ceux qui travaillent et s'intéressent à la prospérité de notre pays.

J'ai pour mission, aujourd'hui, de vous résumer l'ensemble de ces travaux, mais je dois, au préalable, rendre un dernier hommage à la mémoire des collègues que la mort a enlevés à notre affection dans le courant de cette année, et rappeler les distinctions accordées à un cer-

tain nombre des nôtres, ainsi que les manifestations de sympathie qui se sont produites en faveur de notre Société.

Le nombre, malheureusement trop considérable, de ceux d'entre nous qui ont disparu, s'est élevé cette année à cinquante ; il nous a été donné de résumer la vie et de rappeler les services rendus par quarante-cinq d'entre eux, il nous reste donc à rendre un dernier hommage à la mémoire des cinq autres collègues.

Voici les noms des quarante-cinq premiers collègues décédés :

MM. Meyer, Chameroy, Proveux, Gaupillat, Biver, Hirn, Durenne, Gotendorf, Gerest, Dufresne, Yvert, Schoubart, Poupart, Barrouin, Rouit, Charpentier de Cossigny, Bandérali, Marland, Péligot, Courras, Imbach, Plainemaison, de Loriol, Viron, Ameuille, Berthon, Portier, Moreaux, Potelet, Gillot, Couvreux, Barbe, Mathias, Nancy, Mariotte, Baumal, Lauber, Violet, Mialane, Vander Elst, de Komamicki, Bede, Maillet, Mauget, Pedralbès.

Les cinq nouveaux membres de notre Société enlevés par la mort à l'affection de leurs familles, sont :

MM. Albert Cahen, ancien élève de l'École de Châlons, membre de notre Société depuis 1879, et qui était arrivé par son travail, les sympathies qu'il savait inspirer à tous ceux qui l'entouraient et ses belles recherches sur le droit industriel, à être nommé Président du Syndicat des Ingénieurs Conseils. Sa perte a été douloureusement ressentie par tous ceux qui ont été à même d'apprécier la valeur de ses conseils et l'affabilité de son caractère ; nous partageons ces sentiments et en adressons l'expression bien sincère à sa famille éplorée.

Octave Geoffroy, ancien élève de l'École Centrale et membre de notre Société depuis 1855, laisse au Chemin de fer du Nord, où il occupait les importantes fonctions d'Ingénieur du matériel et de la traction des lignes Nord-Belges, le souvenir d'un ingénieur d'une grande valeur professionnelle et d'un chef aimé et estimé par les nombreux agents qui, placés sous ses ordres, avaient été à même d'apprécier son grand esprit de justice et son extrême bonté. Ses belles recherches, en partie publiées dans nos Bulletins, sur la vaporisation de l'eau dans les machines, les échappements et les machines à fortes rampes, lui survivront et conserveront à son nom une renommée très justement méritée. Puisse l'expression de nos regrets adoucir la douleur de sa famille et de tous ceux qui l'ont connu, aimé et estimé.

Camille Laurens, qui vient d'être enlevé à l'affection des quelques vieux amis au milieu desquels il s'était retiré, a été l'un des Ingénieurs qui ont rendu le plus de services à notre industrie nationale et aidé, dans une des mesures les plus larges, au prestige que notre Société a su conquérir dès ses débuts. Sorti de l'École Centrale en 1833 et associé avec notre très regretté collègue Thomas, le savant successeur de Péclet dans l'enseignement du cours fait à l'École Centrale sur les applications de la chaleur, il a été l'un de ceux qui ont le plus puissamment aidé aux transformations merveilleuses de notre grande industrie métallurgique et de toutes celles produisant la puissance motrice et utilisant la chaleur dans leur travail. Il était l'un des rares fondateurs de notre Société conservé à notre affection, et avait rapidement conquis l'estime de ses collègues.

qui le nommèrent membre de notre Comité pendant les années 1848-49-50 et 58, puis Vice-Président pendant les années 1860-61. Absorbé par ses belles recherches et ses nombreux travaux, il ne put accepter de continuer ses fonctions, mais il a toujours témoigné à notre Société la plus grande sympathie et la plus vive affection. Il laisse un nom honoré entre tous ; nous en conserverons pieusement le souvenir.

M. A.-J.-M. Saillard, membre de notre Société depuis 1888, occupait les importantes fonctions de sous-chef du secrétariat de la Direction générale des travaux de l'Exposition de 1889 et était fort estimé pour ses qualités professionnelles et l'extrême amabilité qu'il apportait dans ses relations avec tous ceux, et ils étaient nombreux, que les multiples affaires à traiter par la direction amenaient dans son bureau. Il disparaît de ce monde tout jeune encore, au moment où un avenir brillant s'ouvrait devant lui. Sa perte est vivement ressentie par tous ceux qui ont pu apprécier son caractère.

Victor Fournier, membre de notre Société depuis 1867, a parcouru une belle et brillante carrière et occupé d'importantes fonctions dès sa sortie de l'École des Mines de Paris, appelé qu'il a été à diriger successivement les forges de Tamaris et de Torteron. Il a exploité les importantes concessions de galène argentifère de l'Eifel, acquises par lui et deux de ses amis, et rempli les fonctions d'administrateur des lignes de la Compagnie des chemins de fer du Sud de la France. D'un accueil facile, bienveillant et de relations agréables, il ne comptait que des amis, que cette perte affecte douloureusement. Nous nous unissons à eux pour adresser à sa famille éplorée l'expression de tous nos regrets et de notre très vive sympathie.

Si à ces 50 décès on ajoute 40 démissions et 105 admissions nouvelles, on trouve que le nombre des membres de la Société, qui était de 2 274 au 1er décembre 1889, s'élève aujourd'hui à 2 289, nombre que nous espérons voir augmenter dans une plus forte proportion, si le courant des demandes qui s'est produit dans ces derniers temps se continue pendant le cours de cette année, comme tout nous le fait espérer.

Notre situation financière est des plus brillantes, grâce, tout d'abord, au zèle et au dévouement avec lesquels notre sympathique trésorier, M. H. Couriot, a rempli ses fonctions ; puis, à l'intelligent et actif concours qu'il a reçu de notre agent général, M. de Dax. Elle l'est aussi grâce aux dons importants qui nous ont été adressés et dont je rappelle ici l'importance :

M. Ch. Macler nous a versé une somme de 100 *f*.

M. Adolphe Meyer nous a légué une somme importante, mais pour laquelle nous n'avons pu encore remplir toutes les formalités exigées pour en toucher le montant.

Mme veuve Couvreux et ses enfants nous ont fait remettre la somme de 5 000 *f*, dans le but de fonder un prix triennal (médaille d'or équivalente) qui portera le nom de notre regretté collègue.

M. X..., qui désire garder l'anonyme, nous a adressé une somme de 6 750 *f* environ, représentée par des obligations, dans le but d'établir un fonds de secours.

M. Jolly-César nous a fait don d'une somme de 1 500 *f*, qu'il avait versée en trop lors de l'emprunt de 75 000 *f*, en 1889.

M. le baron Sadoine nous a fait remettre une somme de 500 *f*.

Nous devons ajouter aussi à ces dons en argent celui d'un plan en relief de la Ville de Paris, fait par M. Muret, et dont la valeur artistique est des plus grandes;

Et rappeler, enfin, l'abandon que nos collègues, souscripteurs de notre emprunt pour les réceptions de l'Exposition, continuent à faire de leurs bons, et qui représentent cette année 218 bons d'une valeur de 10 900 *f*.

Les distinctions honorifiques qui nous ont été accordées démontrent, elles aussi, le succès de nos efforts pour faire apprécier les services que nous essayons de rendre au monde du travail; elles ont été particulièrement importantes cette année, puisqu'elles comprennent :

Comme décorations françaises :

Deux croix de commandeurs de la Légion d'honneur, accordées à MM. E. Pereire et au baron Sadoine ;

Cinq croix d'officiers de la Légion d'honneur, accordées à MM. E. Cauvin, Goldenberg, Gottschalk, Coffinet et Villard ;

Neuf croix de chevaliers de la Légion d'honneur, accordées à MM. Delaperrière, Paul, Japy, Hardon, Terrier, Arnodin, Henry-Lepaute, Suais et Tresca;

Cinq palmes d'officiers de l'Instruction publique, accordées à MM. Chalain, Boucheron, Cerbelaud, Ellissen, E. Level ;

Et vingt et une palmes d'officiers d'Académie, décernées à MM. Bocandé, Cahen-Strauss, Liébaut, Mallet, Hardon, Ferrand, Bauer, Fabre, Furno, Ladret, Gasne, Georgin, Vallot, Lasne, Logre, Bayvet, Bonnaud, de Dax, Deghilage, Salles, Schœller.

Comme décorations étrangères :

Une croix de commandeur du Nicham-Iftikar, accordée à M. A. Berton ;

Une croix d'officier du même ordre, accordée à M. A. Béthouart;

Une croix de chevalier du même ordre, accordée à M. A. Hallopeau ;

Une croix de commandeur du Nicham-Anouar, accordée à M. E. Baudet ;

Une croix de commandeur du Christ du Portugal, accordée à M. Doat;

Deux croix de chevalier du même ordre, accordées à MM. A. Martin et Bocquet;

Une croix de Saints-Maurice et Lazare, accordée à M. E. Gruner ;

Une croix de chevalier de Léopold de Belgique, accordée à M. Yrazusta ;

Une croix de chevalier de la Couronne de Prusse, accordée à M. Zschokke ;

Une croix de chevalier de la Conception de Villa-Viçosa, accordée à M. de Baère ;

Une croix de chevalier de Saint-Stanislas de Russie, accordée à M. Ansaloni :

Une croix de chevalier de Sainte-Anne de Russie, accordée à M. G. Eiffel ;

Deux croix de chevalier d'Isabelle-la-Catholique (Espagne), accordées à MM. L. Baudet et de Dax;

Une croix de chevalier du Cambodge, accordée à M. L. Baudet;

Une croix de chevalier du Medjidié, accordée à M. A. Martin.

Et comme nominations dans des Commissions et membres honoraires dans des Sociétés étrangères, les noms de :

MM. Dietz-Monnin, Guillotin, Gottschalk, E. Level, Michau, Poirrier, Prevet, Reymond et Villard, en qualité de membres du Comité consultatif des chemins de fer pour 1890-91;

MM. Berger, Dietz-Monnin, Guillotin, Prevet et Poirrier, en qualité de membres de la Commission supérieure des Expositions internationales;

M. Périssé comme président de l'Association des Industriels de France contre les accidents du travail;

M. Reymond comme membre du Comité permanent du Congrès des accidents du travail;

MM. Jordan, Liébaut, Ernest Mayer, comme membres du Comité consultatif des Arts et Manufactures.

MM. Contamin et Eiffel, en qualité de membres honoraires de la Société Impériale Polytechnique de Russie;

MM. Reymond et Eiffel, en qualité de membres honoraires de l'Association des Ingénieurs industriels de Barcelone;

MM. Contamin et Eiffel, en qualité de membres honoraires de l'Institut royal néerlandais.

Plusieurs de nos collègues, enfin, ont vu leurs travaux récompensés par des prix que nous avons fait connaître au fur et à mesure qu'ils étaient accordés; permettez-moi, néanmoins, de les rappeler dans cette revue rétrospective :

La Société a décerné sa médaille d'or à M. Rémaury et attribué une somme de 500 francs, provenant du prix Giffard, à M. Casalonga.

La Société d'Encouragement a décerné :

La grande médaille de mécanique à M. Frey;

Le prix Giffard de 6 000 *f* à M. Ferdinand Carré;

Le prix fondé par la classe LXV de l'Exposition de 1867 à M. Lantrac;

L'un des trois prix fondés par la classe XXVII de la même Exposition à M. Imbs;

Un prix de 3 000 *f*, fondé pour la fabrication du meilleur acier fondu, à M. Brustlein;

Un prix de 500 *f*, pour ouvrage primé sur la métallurgie, à M. Hallopeau;

Des prix de 1 500 *f* et 1 000 *f* à MM. Clémandot et de Baillehache, pour leurs appareils susceptibles d'annoncer automatiquement le passage des trains;

Le prix de 2 000 *f*, destiné à l'appareil le meilleur, permettant de transmettre à grande distance la pression d'un gaz ou d'une vapeur, à MM. Richard frères;

Et des médailles d'or à M. Berlier, pour l'ensemble de ses travaux sur les chemins de fer et les vidanges, et à MM. Godillot et Bourdil,

pour leurs travaux sur les foyers à combustion méthodique et un pulvérisateur sur le traitement du mildew.

L'énumération des travaux qui suit montre la variété des sujets traités et la grande érudition avec laquelle les procédés nouveaux, les progrès réalisés, ont été étudiés et discutés ; elle ne peut qu'encourager toutes les compétences à venir nous donner leur concours.

Nous suivons, dans le résumé des travaux de nos vingt-trois séances, la division en quatre sections, établie par nos règlements.

TRAVAUX PUBLICS

Une communication très intéressante a été faite par notre collègue, M. A. Barre, sur les avantages qu'on pourrait recueillir en faisant usage des chemins de fer glissant à propulsion hydraulique de L.-D. Girard. Cette communication a donné lieu à une discussion très complète au point de vue technique, soutenue principalement par MM. Regnard et Brüll.

M. Coignet a rendu compte d'un projet de pont tout en béton qu'il a étudié à la suite de la mise au concours, par le département de la Seine, d'un pont à établir entre Ivry et Charenton. Il en a décrit les conditions d'établissement et établi le prix de revient. M. Forest a présenté quelques observations sur les méthodes suivies pour en calculer les dimensions.

M. Coiseau, qui a eu la bonne fortune de collaborer à la construction du gigantesque pont construit sur le golfe du Forth près d'Edimbourg, a fait une conférence des plus instructives et des plus intéressantes sur les conditions dans lesquelles cet ouvrage a été établi et calculé. Il cite entre autres le chiffre de 273 *kg* par mètre carré pour la pression exercée par le vent et celui de 10 *kg* par millimètre admis comme fatigue moléculaire de l'acier employé à sa construction.

Le mémoire remis par ce collègue sur ce très important travail a été inséré dans notre bulletin du mois d'avril.

M. Leygue, de retour d'un voyage fait en Égypte, a présenté un résumé des travaux exécutés le long de la vallée du Nil pour y substituer la culture par irrigation à la culture traditionnelle par submersion.

M. Buquet a analysé une note envoyée par notre collègue Ventre-bey sur la nitrification des koms ou anciens monticules égyptiens et résumant les recherches très intéressantes auxquelles notre savant collègue s'est livré sur les conditions dans lesquelles s'effectuent les transformations de certaines ruines égyptiennes.

M. Fleury a donné l'analyse des ouvrages de M. F. Moreaux sur la navigation sur le Rhône à la mer et dans les canaux.

M. Fleury, qui représentait notre Société au Congrès de navigation réuni à Manchester, a rendu compte des diverses questions traitées par cette réunion d'hommes spéciaux, et fourni des renseignements sur l'état des voies navigables dans les principaux pays de l'Europe.

Une analyse nous a été présentée de l'ouvrage de Ibarreta sur les voies étroites par M. Moreau.

MÉCANIQUE ET SES APPLICATIONS.

M. Boudenoot a déposé, au nom du bureau du Congrès International de mécanique appliquée, les procès-verbaux de ses séances publiés par les soins de M. A. Tresca, secrétaire du Congrès et en a résumé les parties principales. Ce compte rendu a été publié dans nos bulletins.

M. Demoulin a développé un travail sur le Tirage forcé et les chaudières marines qui a été inséré dans notre bulletin et a donné lieu à une discussion importante à laquelle ont pris part MM. Polonceau, Roy et Mayer.

M. Jouffray a donné communication, dans la même séance, d'une étude sur le tirage forcé dans les chaudières fixes et marines et de son application spéciale à la combustion des charbons menus, travail également inséré dans notre bulletin, et qui a ajouté un élément nouveau à la discussion dans laquelle sont intervenus : MM. Lencauchez, Polonceau, Demoulin et Michel Perret.

M. Tédesco nous a soumis une étude qu'il venait de faire sur un essai de méthode élémentaire commune aux ponts rigides et articulés.

M. R. Arnoux a développé ses recherches sur le calcul graphique et mécanique, sur lesquelles s'est engagée une discussion à laquelle ont pris part MM. Euverte, Vallot et Roy.

M. Bertrand de Fonviolant a présenté une analyse de son mémoire de la statique graphique des arcs élastiques, qui a été inséré dans nos bulletins; puis une étude sur la méthode générale de détermination des lignes d'influence dans les parties pleines ou réticulaires assujetties à des conditions surabondantes.

M. Périssé a donné communication à la Société du travail qu'il a fait en collaboration avec MM. Compère et Paul Regnard, sur les foyers et l'utilisation des combustibles des chaudières fixes à vapeur de l'Exposition de 1889. Cette communication, insérée dans nos bulletins, a donné lieu, après explications complémentaires de MM. Compère et Regnard dans une séance ultérieure, à une discussion à laquelle ont pris part MM. Dulac et Polonceau.

M. Polonceau a donné communication à la Société d'un mémoire important de MM. Lencauchez et Durant, sur la production et l'emploi de la vapeur, qui, partagé en six parties, traitait du moyen le plus économique d'augmenter la puissance de production des machines locomotives, tout en diminuant leur consommation en charbon par unité dynamique produite. Cette communication fort complète et qui se rapportait aux essais entrepris par la Compagnie d'Orléans, a donné lieu à une discussion dans laquelle sont intervenus M. Du Bousquet, Ingénieur en chef du matériel et de la traction à la Compagnie du Nord, et M. Pulin, Ingénieur de la traction au même chemin de fer, puis MM. Roy, Polonceau, Mallet, Lencauchez, Collet, Francq et Chapman, discussion qui a fait connaître à la Société par quels moyens la Compagnie du Nord espérait résoudre le même problème. Les arguments invoqués et les explications données par les chefs de services les plus autorisés de ces deux Compagnies ont établi avec une très grande clarté la position du problème tel qu'il est posé et indiqué, en en justifiant les dispositions,

les raisons des moyens employés pour le résoudre dans chacune de ces Compagnies.

M. Mallet a lu une note sur le développement de l'application du principe compound aux locomotives, qui résume très complètement ses travaux sur cette importante question.

M. Chaudy a donné communication d'une théorie nouvelle de la stabilité des prismes chargés de bout, qui a été insérée dans nos bulletins.

M. Normand a vivement intéressé la Société en lui exposant les nouvelles dispositions qu'il a adoptées pour installer les générateurs et machines du torpilleur 128. Les résultats obtenus aux essais de consommation à petite et à grande vitesse et qu'il lui a fait connaitre, ont été considérés comme tout à fait remarquables.

Cette communication, qui a été insérée dans notre *Bulletin* du mois de décembre, a donné lieu à une discussion à laquelle ont pris part MM. Casalonga et Thareau.

M. Hillairet a fait connaitre à la Société les dispositions très ingénieuses qu'il a imaginées pour établir une transmission de mouvement dans les usines Chevrant, près de la petite ville de Domène dans l'Isère, par un transport électrique entre cette usine et celle de la Force où il avait établi une dynamo génératrice accouplée directement à la turbine motrice.

Les renseignements fournis sur ce mode tout nouveau comme application pratique d'un transport de force, ont provoqué une discussion à laquelle ont pris part MM. Haubtmann, Pillet et Whaley.

PHYSIQUE ET CHIMIE

M. Appert a fait à la Société deux communications des plus intéressantes sur la grande industrie du verre, dont il est l'un des représentants les plus autorisés. La première se rapporte aux défauts du verre et aux moyens de les reconnaitre; la seconde, à son nouveau procédé de moulage du verre basé sur l'étude des phénomènes de malléabilité.

M. Cerbelaud a donné communication de l'analyse d'une note de M. Couture sur l'éclairage électrique dans les différents pays.

MM. Carcenat et Derennes ont présenté à la Société un mémoire inséré dans nos bulletins et indiquant les procédés employés par la Compagnie du Nord pour épurer ses eaux d'alimentation des locomotives. Ils ont donné les prix de revient de ces opérations et indiqué l'économie considérable qui en résultait dans l'entretien des locomotives.

Cette communication a donné lieu à une discussion dans laquelle sont intervenus MM. Asselin, Edmond Roy et Regnard.

Nos *Bulletins* ont inséré un travail de notre collègue, M. H. Brivet, qui sera lu avec le plus vif intérêt par tous ceux d'entre nous qui s'intéressent à l'étude des métaux. Il y a résumé, avec une grande clarté, les nouvelles méthodes de fabrication exploitées dans les différentes usines, tant françaises qu'étrangères pour obtenir l'aluminium et ses alliages et dont des échantillons ont figuré à l'Exposition de 1889. Ce travail ne fournit pas que des renseignements techniques, il donne également les prix de vente des différentes usines, prix intéressants à consulter.

MINES ET MÉTALLURGIE

M. Remaury nous a communiqué un travail des plus importants sur la situation de la concession houillère de l'île de Kebao, au Tonkin, qui est des plus rassurantes pour l'avenir de cette grande colonie, au point de vue, du moins, du centre d'exportation que notre cher pays peut s'y créer, s'il veut enfin envisager la question coloniale au double point de vue national et patriotique, et dédaigner les attaques de ceux qui, ne vivant que de politique, ne connaissent rien aux conditions du travail.

M. Polonceau a analysé, en la déposant sur le bureau, une étude extrêmement intéressante qui nous était adressée par notre collègue, M. J. Meyer, Ingénieur en chef du Jura-Simplon, sur la chaleur centrale dans l'intérieur des massifs, sur les difficultés qu'elle occasionne pour les grands percements alpins et sur les moyens d'atténuer ces difficultés. La note de M. Meyer cite de remarquables extraits d'une brochure que notre très estimé et savant collègue, M. Colladon, lui avait adressée et qui, publiée à Genève en 1883, est intitulée : *Les procédés hygiéniques pour les percements des longs tunnels à ciel fermé, moyens d'aération et de refroidissement.*

Notre *Bulletin* de septembre est consacré presque entièrement à la reproduction du rapport de M. Dujardin-Beaumetz sur le matériel de l'exploitation des mines à l'Exposition de 1889. Ce travail, préparé par notre collègue, en sa qualité de rapporteur de la commission chargée par la Société de cette étude, est un recueil on ne peut mieux coordonné et intéressant renfermant l'exposition de tous les progrès récents réalisés dans l'outillage des mines. Il sera lu et consulté avec fruit par tous ceux qui, de près ou de loin, sont attachés à notre grande industrie minière.

DIVERS

Nous rangeons, sous ce titre, tous les sujets non techniques se rapportant aux questions d'instruction et aux relations sociales et internationales.

M. Couriot a résumé le compte rendu des communications qu'il a faites de concert avec M. Salomon au Congrès des Sociétés savantes sur l'Enseignement professionnel. Cette communication a donné lieu à une discussion à laquelle ont pris part MM. Polonceau, Roy, Périssé et Lucas.

M. Cacheux a remis à la Société le compte rendu *in extenso* du 9e Congrès international de sauvetage, ainsi que son travail sur les Habitations ouvrières en tous pays.

Une discussion fort importante, on peut dire l'une des plus importantes de la session, a été provoquée par la communication de M. E. Bert sur les Traités de commerce et leur renouvellement. Les conditions du travail national s'y trouvent exposées avec une grande clarté et ont été publiées dans notre bulletin du mois de février. MM. Fleury, Euverte, Cornuault, Gassaud, E. Simon, Cerbelaud, Polonceau, E. Bert, Coignet et Couriot ont défendu avec éloquence leurs opinions sur cette question si importante et dont dépend en partie l'avenir de la Patrie.

M. G. Salomon nous a présenté une analyse de l'ouvrage de M. Gibon

sur les accidents du travail qui a vivement intéressé tous ceux qui se préoccupent de rendre de plus en plus amicales les relations entre les travailleurs de tout ordre.

M. Moreau a, dans une communication très détaillée sur l'Exposition qui aura lieu à Moscou en 1891, expliqué les conditions dans lesquelles elle est établie et exprimé le vœu que le plus grand nombre possible de nos collègues prenne part à cette Exposition afin de contribuer au succès de l'Entreprise, et resserrer ainsi les liens de bonne amitié qui nous unissent au Génie civil russe.

M. Gruner a, dans deux communications successives, entretenu la Société des deux Expositions de Bohême en 1891 et de Chicago en 1893, et, rappelant les sentiments de grande sympathie de la nationalité tchèque pour notre pays et nos excellentes relations avec les Ingénieurs américains, il nous a vivement engagés à y participer dans la plus large mesure possible.

M. Polonceau a donné les renseignements les plus complets sur la tenue du Congrès de l'Iron and Steel Institut à New-York et du Congrès international de Pittsburg.

En terminant cet exposé de nos travaux, je dois remercier mes collègues du Bureau et du Comité du concours si affectueux et si dévoué qu'ils n'ont cessé de me donner pendant le cours de nos séances et dont je conserverai toujours le meilleur souvenir. Mes remerciements s'adressent aussi au personnel de la Société et en particulier à notre agent général, M. de Dax, qui a toujours rempli ses difficiles fonctions à la satisfaction de tous.

Par le choix que vous avez fait, pour Président, de notre excellent collègue, M. Polonceau, dont le nom est si honorablement connu dans les grandes familles des chemins de fer et des Ingénieurs civils, et qui a rempli ses fonctions de Vice-Président avec un dévouement et un zèle auxquels nous sommes heureux de rendre hommage, vous assurez à la marche de nos travaux, de nos études et à nos discussions et publications, une direction éclairée et dévouée qui ajoutera un nouvel intérêt à nos séances et augmentera la juste renommée que nous avons eu la bonne fortune de conquérir.

Se tournant vers M. Polonceau.

Je vous invite, mon cher collègue, à prendre place sur ce fauteuil si brillamment occupé, il y a vingt-quatre ans, par Camille Polonceau, votre parent, l'un des premiers élèves de l'École Centrale et l'un de ceux dont nous sommes le plus fiers, car sa grande notoriété a aidé à la bonne renommée que les Ingénieurs civils ont su conquérir dès leur début dans la vie industrielle de notre chère patrie. *(Très bien! très bien!)*

L'estime et la sympathie que l'autorité et l'honorabilité de votre personne font naître tout autour de vous, vous assureront une année de travaux et de publications qui ne pourront qu'ajouter à la considération dont notre Société jouit, à tant de titres, dans le monde du travail. Vous avez hérité des capacités professionnelles et des sentiments de dévouement au bien public qui honorèrent les membres de votre famille, vous

pouvez être assuré du dévouement de tous vos collègues pour vous aider à remplir cette noble mission. *(Bravo! bravo! Longs et vifs applaudissements.)*

M. E. Polonceau, nouveau Président, après avoir serré la main de M. V. Contamin, prend place au fauteuil et prononce le discours suivant :

Mon cher Président,

Je suis très flatté, croyez-le bien, des éloges que vous m'adressez, et, venant de vous, homme d'honneur et de travail, ils ont une valeur toute spéciale.

Vos travaux, votre haut mérite comme Ingénieur étaient connus depuis longtemps de nous tous, mais l'Exposition de 1889 a montré la somme immense de travail que vous pouviez produire, et la grande galerie des machines, l'œuvre éclatante de la puissance de l'Ingénieur, est et restera pour les Ingénieurs le fait technique le plus important de notre grande Exposition. *(Bravo! Bravo! Applaudissements.)*

Votre modestie, mon cher Président, n'empêchera pas le succès de votre œuvre de croître de jour en jour. Ce succès fait le plus grand honneur à notre Société des Ingénieurs civils, à laquelle vous avez consacré bien du temps et que vous venez de *présider* avec tant de dévouement dans des circonstances difficiles, — car, après 1889, *c'était une rude tâche.* — Les travaux qui ont été présentés et discutés prouvent le zèle qu'il a fallu déployer pour arriver à des résultats qui, en résumé, placent l'année 1890 parmi les bonnes années.

Je suis l'interprète, j'en suis convaincu, de tous nos collègues, en vous adressant toutes nos félicitations et vous demandant instamment de vouloir bien continuer votre concours dévoué aux séances du Comité et de la Société. *(Très bien! Très bien! Vifs applaudissements.)*

Messieurs et chers collègues,

Permettez-moi tout d'abord de vous remercier du très grand honneur que vous m'avez fait en me nommant Président et me mettant à cette place occupée par tant d'hommes marquants.

Je vous en suis profondément reconnaissant.

En me nommant, laissez-moi vous le dire, vous avez fait un acte de courage; vous avez voulu, vous, en majorité anciens élèves de l'Ecole Centrale, prendre pour Président un ancien élève de l'École des Mines de Paris, prouver en cela que vous étiez ennemis du monopole et que la Société des Ingénieurs civils enrôlait sous son drapeau de progrès et de liberté tous les Ingénieurs civils, de quelque école qu'ils sortissent *(Bravo!)*, ne voyant en eux que des travailleurs dévoués aux progrès de la science, au développement de l'industrie et du commerce, le tout pour la grandeur de notre patrie. *(Très bien! Applaudissements.)*

Du reste, en cela vous avez agi conformément aux précédents, car si je passe en revue la liste de vos anciens Présidents, j'en trouve un certain nombre qui ne sortent pas de l'École Centrale, et même qui ne sortent d'aucune école, la Société ayant montré de tout temps son impartialité et son esprit libéral.

Enfin, mes chers collègues, si je ne suis pas de l'Ecole Centrale, j'ai

toujours eu pour elle une grande sympathie, d'abord parce que c'est pour ainsi dire elle qui a créé l'Ingénieur civil, ou tout au moins l'a classé dans la hiérarchie sociale; puis, parce que parmi ses directeurs, professeurs, je vois aussi bien dans ceux qui ne sont plus que parmi les présents, des amis personnels ou de ma famille : je n'aurais qu'à citer Perdonnet, Bellanger, Thomas, Lavallée, etc., et enfin celui dont le nom vous est si sympathique, Camille Polonceau, *mon maître;* c'est en me rappelant ces noms qu'il m'a semblé que je ne pouvais être qu'un candidat d'union, ce qui est mon plus grand désir, et c'est en m'appuyant sur ce souvenir de Camille Polonceau que je suis heureux d'avoir été nommé *Président. (Très bien ! Applaudissements.)*

Je le reconnais comme mon maitre, lui, le créateur de l'organisation du service du matériel et de la traction des chemins de fer et je n'éprouve aucune gêne à dire et à sentir que tout ce que je suis, je le lui dois, car j'ai une reconnaissance absolue de tout ce qu'il a fait pour moi par ses conseils, sa vie et ses actes.

Il n'y a que ceux qui, comme moi, ont vécu dans son intimité qui puissent apprécier les mérites de cet Ingénieur éminent, frappé à quarante-sept ans dans la plénitude de ses facultés.

Mes chers collègues, il y avait deux choses dont il se préoccupait constamment : le rang que l'Ingénieur civil doit tenir dans la société, car il entendait l'y faire respecter; l'amélioration du sort de son personnel et tout spécialement des ouvriers.

Je vous demande quelques instants pour traiter ces deux points.

L'Ingénieur n'a pas toujours, dans la société actuelle, le rang qu'il devrait occuper, et cependant sa carrière est la plus belle. Les travaux de l'Ingénieur civil sont de l'ordre intellectuel technique et social le plus élevé : constamment créateur, il augmente à chaque instant l'actif de l'homme, sa puissance; il lutte et triomphe des éléments; enfin, en dehors de ses devoirs hiérarchiques, il est libre, ce qui est la première chose pour un homme.

Les Ingénieurs avaient autrefois de grandes fonctions : ils étaient spécialement les machinistes, les constructeurs des engins de guerre; plus tard, ils furent chargés de la défense des places, des fortifications, etc.; puis, petit à petit, le titre d'Ingénieur disparut, et le poste fut occupé par des officiers. Le titre d'Ingénieur ne fut plus donné par les gouvernements qu'à ceux des Ponts et Chaussées et des Mines.

Mais, malgré cela, les Ingénieurs civils, en petit nombre, il est vrai, existaient, travaillaient aux progrès de l'industrie, à l'avancement des sciences, et, sous leur impulsion, l'École Centrale se fondait, faisant renaître, pour ainsi dire, l'Ingénieur civil de ses cendres.

L'Ingénieur civil est donc fort ancien : c'est le premier des Ingénieurs. Les Ingénieurs des Ponts et Chaussées et des Mines, etc., étaient à l'origine des Ingénieurs civils; mais, comme corporation, si je puis m'exprimer ainsi, l'Ingénieur civil est de création moderne.

Notre art, sous cette nouvelle forme, est donc tout récent, tandis que les autres arts libéraux, qui sont en possession de situations non modifiées, de droits reconnus, depuis plus de cinq cents ans, ont conquis des prérogatives qu'ils doivent d'ailleurs, en grande partie, à leur *union;*

nous, nous sommes des jeunes à côté d'eux ; nous devons patienter, prendre modèle sur leur union corporative ; par nos travaux, affirmer à tout jamais la place que nous devons occuper, et chaque pas fait dans cette voie améliorera la situation de chacun de nous et la prospérité de la Société des Ingénieurs civils.

Pour la maintenir, cette prospérité, nous devrons être constamment à la tête des progrès de la science et de notre art d'Ingénieur ; c'est grâce à nos travaux, à nos découvertes, à nos perfectionnements, que l'industrie et le commerce peuvent lutter avec succès contre la concurrence étrangère, étendre leur champ d'exploration et concourir, en un mot, à la prospérité nationale.

Mais ces résultats, que l'industrie et le commerce obtiennent, grâce à nos travaux, ont encore un but bien plus élevé : ces bénéfices supplémentaires, produit de nos efforts, permettent d'améliorer progressivement le sort des travailleurs, question sociale à l'ordre du jour, problème non insoluble, que nous pouvons résoudre et que nous résoudrons.

C'est là, mes chers collègues, le plus beau côté de notre carrière d'Ingénieur, et, d'après moi, la meilleure méthode pour faire de bonnes affaires commerciales et industrielles, est de s'occuper du sort de son personnel à tous les points de vue. *(Bravo!)*

L'ouvrier est un outil intelligent ; si vous voulez en obtenir le maximum d'effet utile, il faut qu'il soit en parfait état à tous les points de vue.

Lorsque votre personnel aura confiance en vous, lorsqu'il verra que vous êtes juste et impartial, qu'il saura que vous êtes toujours disposé à demander les *choses possibles* en sa faveur, à faciliter son travail, à vous occuper de son bien-être, de son instruction, il travaillera avec zèle, dévouement, intelligence, activité, et vous rendra largement ce que vous ferez pour lui.

La question sociale, si brûlante et si inquiétante, ne sera pas résolue, suivant moi, par des lois qui imposeront ceci ou cela, dans un cas ou dans un autre, aux patrons ou aux travailleurs. Elle n'existe que parce que les ouvriers croient que leurs intérêts ne sont pas les mêmes que ceux des patrons, et que quelques patrons le croient aussi.

Or, c'est une erreur complète.

Les intérêts des ouvriers sont les mêmes que ceux des patrons ; c'est cela que *nous*, Ingénieurs, placés entre les patrons et les ouvriers, devons faire comprendre à chacun. Leurs intérêts sont les mêmes : si les ouvriers travaillent intelligemment, avec zèle et dévouement, les bénéfices augmenteront et les patrons pourront améliorer le sort de leur personnel ; sans ces bénéfices, où voulez-vous qu'ils prennent les fonds nécessaires pour venir en aide à leur personnel ?

Ce n'est donc que par cette union des intérêts que l'on peut résoudre la question sociale, puisque c'est par elle seule qu'on en trouvera les moyens.

C'est cette mission glorieuse que nous avons au premier chef, parce que c'est par l'organisation des travaux, par les perfectionnements, les économies que nous réaliserons, que nous gagnerons la confiance de nos patrons et les convaincrons que notre programme est le bon.

Ce n'est pas en surexcitant le travail, en demandant un excès, en s'agitant, qu'on fait des bénéfices ; on peut ainsi faire des bénéfices momentanés, mais les crises amènent ensuite des pertes bien plus considérables que les profits réalisés, lorsqu'elles n'amènent pas la ruine.

Tout bon Ingénieur sait que, pour construire solidement, pour que cela dure, il ne faut pas dépasser la limite d'élasticité, il ne faut même pas l'atteindre. Pour que le travail soit bien fait, il faut que l'employé, l'ouvrier, puisse réfléchir ; qu'après un certain temps, il puisse se reposer, pour se remettre ensuite à l'œuvre avec vigueur et sûreté ; s'il est énervé et surexcité par une application trop continue, il finit par faire tout juste le nécessaire pour ne pas être renvoyé, et, pour produire la même somme de travail, il lui faut de jour en jour plus de temps : les travaux excessifs, les travaux urgents sont presque toujours le fait d'une mauvaise administration ou de chefs incapables *qui n'ont pas su prévoir à temps.*

Lorsque l'on considère les améliorations successives accordées par diverses industries, sociétés ou compagnies, on peut constater qu'il n'en est résulté aucune diminution dans les bénéfices, et qu'une meilleure situation financière en a été plutôt la conséquence.

Presque toutes ces améliorations sont le fait d'Ingénieurs, et là, comme dans beaucoup de choses, nous avons apporté notre esprit pratique qui ne se paie pas de mots, mais de faits ; nous avons travaillé à cette œuvre avec un désintéressement complet, comme guidés par ce grand principe que les puissants et les riches n'ont de raison d'être sur cette terre que pour soutenir les faibles et secourir les malheureux. *(Bravo ! Vifs applaudissements.)*

Nous sommes auprès des puissants et des riches ; notre tâche est de leur faire comprendre leur mission et de leur demander les *choses possibles* qui amèneront la prospérité de leurs affaires, et si des sauveurs se présentent et réussissent à faire admettre leurs procédés mirifiques pour réaliser des bénéfices, laissez-les faire ; le temps viendra prouver que votre formule est la bonne, et les exemples sont trop nombreux pour insister davantage.

En terminant, mes chers collègues, permettez-moi de vous demander pour 1891 votre concours dévoué pour notre Société. Sans vous, je ne puis rien ; c'est vous qui pouvez, par vos communications, vos discussions, donner un nouvel essor à notre Société ; c'est ici que chacun de nous doit apporter toute affaire nouvelle en dehors d'aucune réclame, afin de populariser les découvertes, les progrès ; de les faire apprécier, faire surgir des applications, des généralisations, des idées nouvelles, et contribuer ainsi, comme je vous le disais en commençant, à la prospérité de notre chère Patrie. *(Bravo ! Bravo ! Applaudissements prolongés !)*

Pour se conformer à l'ordre du jour, M. le Président demande s'il n'y a pas d'observations sur les procès-verbaux des séances des 5 et 19 décembre dernier.

Aucune observation n'étant présentée, les procès-verbaux sont adoptés.

M. le Président est heureux de pouvoir annoncer les décorations et distinctions suivantes :

Ont été nommés :

Chevalier de la Légion d'honneur : M. J.-A. Bellet ;

Officiers d'Académie : MM. A. Béthouart, A. Bloche, C.-H.-M. Chassevent, J.-E. Chauveau, H.-A. Farjas, P.-Ch. Gassaud, G.-G. Guerbigny, J.-J. Heilmann, J.-L. Logre et Ch.-V. Taconnet ;

Chevalier du Mérite agricole : M. Aug. Moreau ;

Commandeur de l'Ordre de Saint-Stanislas de Russie : M. E. Ravasse ;

Commandeur de l'Ordre de Charles III d'Espagne : M. A.-L.-Ch. Vernes.

M. E. Cadiat a reçu de l'Institut un Prix de deux mille francs pour l'ouvrage qu'il a publié en collaboration avec M. Ledieu sur le nouveau matériel naval.

M. J.-E. Boulogne a obtenu de l'Académie des Sciences le Prix Plumey *(Perfectionnement des machines à vapeur ou de toute autre machine qui aura le plus contribué au progrès de la navigation à vapeur)*.

M. LE PRÉSIDENT remercie au nom de la Société M. F., qui a fait abandon de deux Bons et désire garder l'anonyme.

M. LE PRÉSIDENT, à propos des ouvrages reçus, signale les lettres de MM. Dehaitre, Digeon, Herzenstein, L. Francq et Sandberg accompagnant l'envoi de divers volumes et photographies.

M. LE PRÉSIDENT annonce qu'une lettre de M. de Coëne répondant à certaines parties de la communication de M. Fleury sur le Congrès de Manchester est au secrétariat, où chacun de ceux que la question intéresse pourra en prendre connaissance.

M. LE PRÉSIDENT dépose sur le bureau, de la part de M. Belelubsky, les procès-verbaux de la conférence qui a eu lieu, en 1890, à Berlin, pour l'étude de l'unification des modes d'essais des matériaux. Il rappelle que M. Candlot a bien voulu se charger de représenter la Société des Ingénieurs civils à cette conférence et en exposera les travaux devant la Société à sa séance du 6 février. Il propose de réserver pour cette séance les intéressants documents communiqués par M. Belelubsky.

M. LE PRÉSIDENT signale une lettre qui a été adressée, en juin 1890, à divers constructeurs par la « Cataract Construction Company », de New-York. Cette Compagnie se propose de recueillir, de transmettre et de distribuer une force motrice d'environ 125 000 chevaux-vapeur effectifs empruntée aux chutes du Niagara. Elle mettait au concours les projets relatifs à cette question et indiquait la composition de la commission internationale chargée de faire le choix entre les divers projets.

M. le Président annonce que cette lettre paraîtra au Bulletin ; il espère qu'il lui sera possible d'obtenir de divers membres de la Société des communications et des renseignements sur les transmissions de force en général et en particulier sur les projets présentés pour répondre à l'appel de la Compagnie américaine.

M. LE PRÉSIDENT attire dès maintenant l'attention de tous les membres de la Société sur *la question de l'unification des méthodes d'essais*, qui sera portée à l'ordre du jour de la séance du 6 février. Il rappelle que M. Cor-

nut, Ingénieur en chef de l'Association des Propriétaires d'appareils à vapeur de la région du Nord, a fait une très intéressante communication sur ce sujet au Congrès de mécanique appliquée, à Paris, en 1889. Il espère que les membres de la Société qui se sont spécialement occupés de cette question, prévenus à l'avance qu'elle sera traitée en séance le 6 février, voudront bien venir à la Société ce soir-là et apporter à la discussion l'appui de leur expérience.

M. le Président exprime le désir qu'il en soit de même le jour où la question si importante de la transmission de la force par l'électricité sera portée à l'ordre du jour. Il pense qu'il y aura grand avantage à fixer, assez longtemps à l'avance, le jour où une communication importante sera faite pour que les membres de la Société puissent réunir pour cette époque tous les renseignements qui s'y rattachent et puissent apporter les éléments d'une discussion. Les séances seront ainsi plus fructueuses par les observations qui seront présentées et la discussion qui en résultera.

La séance est levée à dix heures.

DES MOYENS

DE

PRÉVENIR L'EMBALLEMENT DES MACHINES A VAPEUR

ET

D'OBTENIR L'ARRÊT RAPIDE DES TRANSMISSIONS

PAR

G. THAREAU

La situation que j'ai occupée à l'Association des Industriels de France contre les accidents, à la fondation de laquelle j'ai contribué sous la direction de notre éminent et regretté ancien Président, M. Émile Muller, m'a amené à étudier, entre autres questions, les moyens employés pour prévenir les emballements des machines à vapeur et obtenir l'arrêt rapide des transmissions en cas d'accidents.

J'ai réuni sur ces deux questions des renseignements que je crois intéressants à vous faire connaître, non pas qu'ils soient tous nouveaux, surtout pour la première, mais qui, pour ceux déjà connus, étaient dispersés dans les traités de machines à vapeur ou dans les publications spéciales. Je les ai rassemblés de façon à appeler l'attention des constructeurs et des industriels sur leur importance, importance qui est d'autant plus grande que la prévention des accidents dont les ouvriers peuvent être victimes dans le travail industriel est, comme vous le savez, actuellement à l'ordre du jour des préoccupations de nos gouvernants.

C'est surtout de l'Exposition de Berlin, à laquelle mon ancien collègue à l'Association, M. Mamy, avait été envoyé, que proviennent, pour la plupart, les renseignements nouveaux relatifs à l'arrêt rapide des transmissions.

Pendant qu'avait lieu en France le grand concours international auquel nous avons assisté, le gouvernement allemand avait organisé à Berlin une exposition spéciale des moyens et appareils propres à éviter les accidents dans les usines.

Vous savez que, depuis plusieurs années, l'industrie allemande est soumise à une législation spéciale en ce qui concerne les accidents d'usine ; cette législation a stimulé le zèle des inventeurs et des constructeurs, qui ont imaginé un grand nombre d'appareils préventifs dont quelques-uns sont vraiment ingénieux. J'ai choisi parmi les appareils exposés à Berlin, se rapportant à l'arrêt rapide des transmissions, ceux qui m'ont paru les plus intéressants et surtout susceptibles d'une application pratique ; en joignant leur description à celle des appareils dont j'ai pu avoir connaissance en France, cela m'a permis de vous présenter un ensemble assez complet de la question de l'arrêt rapide des transmissions.

Quant à celle de l'emballement des machines à vapeur dont je vais d'abord vous parler, on paraît s'en être peu préoccupé à Berlin, et les renseignements qui m'ont permis de composer cette note proviennent de constructeurs français ou d'ouvrages spéciaux publiés en France.

1° De l'emballement des machines à vapeur et des moyens employés pour l'éviter.

On dit qu'une machine à vapeur s'emballe, lorsqu'elle prend une vitesse assez grande pour déterminer dans les divers organes qu'elle met en mouvement des efforts plus considérables que ceux pour lesquels ils ont été calculés.

Les machines à vapeur employées dans l'industrie ont à vaincre des résistances dont l'intensité varie à chaque instant dans des proportions souvent considérables. Pour que ces variations n'influent pas trop sur la marche de la machine, on a muni celle-ci d'un volant qui remplit l'office d'accumulateur, absorbant la force en trop produite par la machine quand la résistance diminue, rendant cette force quand la résistance augmente.

Mais lorsque la diminution de la résistance que la machine a à vaincre, au lieu d'être de courte durée, se prolonge assez longtemps, l'équilibre entre la puissance de la machine et la résistance est rompu ; le piston, poussé par une force à peu près constante, prend une vitesse qui s'accélère de plus en plus, et, si rien ne

venait s'y opposer, il finirait par dépasser *notablement* celle pour laquelle la machine est réglée ; c'est-à-dire que la machine s'emballerait.

C'est ce qui peut arriver lorsque, par exemple, le plus grand nombre des machines que le moteur conduit se trouvent être désembrayées en même temps ou que la courroie qui transmet le mouvement de la machine à vapeur à la transmission vient à tomber de ses poulies ou à se rompre, et que cette machine n'a plus d'autre résistance à vaincre que le frottement de ses propres organes.

L'emballement d'une machine à vapeur peut être la cause de véritables désastres, surtout si elle est de grande puissance. Le volant, entraîné par la machine, arrive à prendre une vitesse plus grande que celle à laquelle il peut résister, il vole en éclats et comme généralement son poids est considérable, les morceaux de fonte lancés avec violence pulvérisent tous les obstacles qu'ils rencontrent, hommes, constructions ou machines.

J'ai eu l'occasion de voir dans ces derniers temps deux usines où un volant avait éclaté; les parties supérieures des salles des machines qui avaient été atteintes étaient littérallement réduites en miettes, et des morceaux de fonte, traversant les toitures, étaient allés tomber à des distances relativement grandes. Dans ces deux cas on n'avait pas eu d'accident de personnes à déplorer, mais il n'en est pas toujours de même.

On voit donc qu'il est nécessaire que, quelle que soit la variation de résistance qu'une machine à vapeur ait à vaincre, sa vitesse reste toujours au-dessous d'une certaine limite. C'est là, comme vous le savez, le rôle qu'ont à remplir les régulateurs de vitesse.

Il en résulte que le régulateur est l'organe indispensable des machines à vapeur, au point de vue de la sécurité, toutes les fois que ces machines ont à vaincre des résistances variables.

Il arrive quelquefois qu'une machine à vapeur commande une autre machine dont la résistance est toujours constante et à laquelle elle est liée directement; c'est le cas, par exemple, des machines soufflantes dont le piston est monté sur la même tige que celui de la machine à vapeur qui les commande. On se dispense alors quelquefois de mettre un régulateur sur le moteur. Mais si ce moteur commandait la machine à résistance constante par l'intermédiaire d'une courroie comme dans le cas, par exemple, d'un ventilateur à ailettes, il serait imprudent de ne pas le

munir d'un régulateur, la courroie pouvant tomber ou se rompre.

Vous savez que les régulateurs produisent leur effet en fermant ou ouvrant plus ou moins l'admission de la vapeur dans le cylindre. Ce résultat est obtenu en utilisant l'action de la force centrifuge sur des boules pesantes qui s'écartent ou se rapprochent, suivant les variations de vitesse de leur axe de rotation, entraînant avec elles un manchon duquel l'organe qui ferme ou ouvre l'entrée de vapeur est solidaire.

Vous savez également que le régulateur de vitesse n'est pas seulement un appareil de sécurité ; il est aussi nécessaire à la bonne marche des machines commandées et à leur bonne exploitation qui exigent qu'elles aient une vitesse constante. L'éclairage électrique, l'industrie de la filature notamment, seraient impossibles si la vitesse du moteur n'était pas sensiblement constante. Aussi s'est-on attaché à perfectionner les régulateurs et est-on arrivé à obtenir des écarts de vitesse très peu considérables.

Mais si on ne considère le régulateur que comme un appareil de sécurité, il n'est pas nécessaire d'être aussi exigeant ; la vitesse peut souvent dépasser notablement celle de régime avant d'atteindre la limite dangereuse ; il suffit donc pour la sécurité, que le régulateur puisse agir avant que cette limite ne soit atteinte.

Malheureusement on trouve encore dans l'industrie des machines à vapeur dont les régulateurs sont tellement défectueux qu'ils sont incapables même de jouer ce rôle ; c'est ce qui explique les accidents dus à l'emballement des moteurs.

Enfin un régulateur, quelque bon qu'il soit, devient inutile si l'organe qui lui transmet le mouvement de l'arbre de la machine vient à manquer ; la machine n'étant plus réglée peut alors s'emballer.

Je me propose de passer en revue les causes générales qu'on rencontre le plus souvent dans les usines, qui empêchent le bon fonctionnement des régulateurs.

Il faut distinguer deux sortes de régulateurs : ceux qui agissent sur un papillon et ceux qui agissent sur la distribution. Il y a des causes de mauvais fonctionnement qui leur sont communes et d'autres qui leur sont particulières.

Si on considère d'abord les premières, celles qu'on rencontre le plus souvent sont les suivantes :

Dans beaucoup de régulateurs la course supérieure du manchon est limitée par une bague ; il arrive souvent que cette bague, qu'on

doit pouvoir au moins déplacer et fixer par une vis de pression, est trop basse et limite la course supérieure du manchon avant que l'admission de vapeur soit complètement fermée; cela tient soit à ce que la bague a été abaissée pour une raison quelconque, soit à ce que les articulations des bielles et manivelles prenant du jeu par l'usure, le manchon doit monter un peu plus haut que quand la machine était neuve pour amener la fermeture complète de l'admission de vapeur.

L'existence de cette bague est même inutile, car la course supérieure du manchon ne devrait être limitée que par la fermeture complète de l'organe qui empêche l'entrée de la vapeur dans le cylindre.

Dans quelques régulateurs, on amortit les oscillations trop brusques du manchon, au moyen d'un ressort à boudin placé au-dessus de lui, autour de l'axe de rotation. Il arrive quelquefois que ce ressort est trop dur et empêche le manchon de monter assez haut.

Très souvent les bielles et manivelles qui rendent le manchon solidaire de l'organe de fermeture ont un jeu considérable dans leurs articulations, qui fait que le manchon doit employer une partie de sa course à rattraper ce jeu et n'agit plus au moment voulu. Enfin fréquemment ces bielles et manivelles qui sont généralement très légères, sont faussées.

Un emballement de machine à vapeur dont j'ai eu connaissance a été causé par l'emploi d'une graisse défectueuse et un défaut d'entretien. L'axe de rotation sur lequel se meut le manchon avait été graissé avec une graisse qui avait formé du cambouis et on avait négligé de l'enlever. La vitesse de la machine devenant tout à coup assez grande par suite du débrayage simultané de la plupart des machines commandées, le manchon ne put pas monter suffisamment pour fermer l'accès de la vapeur dans le cylindre. La poulie de commande se brisa sous l'action de la force centrifuge, et les morceaux tombèrent dans la fosse du volant qui se trouvant tout à coup calé fut brisé et réduisit le bâtiment en miettes; par un hasard providentiel aucun ouvrier ne fut atteint.

Considérons maintenant les régulateurs agissant sur un papillon:

J'ai remarqué que ce mode de réglage est très souvent défectueux, et j'ai trouvé beaucoup de ces sortes de régulateurs qui ne sont même pas capables de ralentir la vitesse d'une machine lorsqu'elle devient trop considérable. Les défectuosités les plus

fréquentes en dehors de celles que je viens de signaler sont les suivantes :

Le mouvement de rotation de l'axe sur lequel est monté le papillon lui est transmis par une bielle agissant sur une manivelle ; l'angle de cette bielle et de cette manivelle est quelquefois tellement aigu ou tellement obtus qu'elles se trouvent très près du point mort et que l'action des boules du régulateur n'est pas assez considérable pour produire la rotation du papillon afin de le fermer ou de l'ouvrir.

D'autres fois le presse-étoupe à travers lequel passe l'axe du papillon est tellement serré que tout mouvement de cet axe est empêché.

Enfin, quelques constructeurs règlent la position du papillon de façon que lorsque le manchon est à son point le plus haut, le papillon ne ferme pas complètement le tuyau d'amenée de vapeur ; il peut alors arriver que le jeu laissé est d'abord trop grand et qu'il est augmenté ensuite par l'usure des articulations des bielles et manivelles.

Les régulateurs agissant sur les organes de distribution fonctionnent généralement mieux, et on n'emploie guère que ceux-là pour les machines d'une certaine puissance. L'effort que doit exercer le manchon pour mettre en mouvement les pièces de la détente est ordinairement plus considérable que celui à exercer sur un papillon, aussi les boules doivent-elles être plus lourdes à vitesse égale. Toutes les parties doivent être entretenues soigneusement et souvent vérifiées.

MM. Dolfus-Mieg et C^ie^, de Mulhouse (*Pl. 29, fig. 12 et 12 a*), pour parer à toute chance d'emballement, ont imaginé la disposition suivante appliquée à une machine compound du système de la Société alsacienne : ils ont ajouté un petit pendule supplémentaire R qui prend son mouvement sur l'arbre du régulateur de la distribution. Ce pendule R est à manchon fixe et à tige mobile ; si la vitesse augmente outre mesure, les boules, en s'élevant, amènent la tige en contact avec l'interrupteur *n* et ferment un circuit électrique qui produit le déclenchement d'un contrepoids amenant la fermeture de la valve d'admission V. Nous décrivons en détail la disposition relative à ce déclenchement plus loin.

Mais, comme nous venons de le dire, en supposant un régulateur d'un fonctionnement parfait, si l'organe qui lui transmet le mouvement vient à manquer, on a à craindre l'emballement de la

machine. Aussi faut-il porter tous ses soins à assurer l'action certaine de l'organe de commande.

La commande se fait de deux façons : par une courroie ou bien par un arbre, et des engrenages d'angle. Ce dernier moyen est plus sûr, et beaucoup d'industriels le préfèrent avec raison, quoiqu'il soit plus coûteux. La courroie peut, en effet, se rompre ou tomber de ses poulies. Il est facile de l'empêcher de tomber en employant des poulies à joues; c'est ce qu'on fait généralement maintenant; quant à la rupture, c'est une affaire de surveillance et de soin.

Aux machines exposées l'année dernière par la maison Powell, de Rouen, la courroie de commande était doublée, c'est-à-dire qu'il y avait deux courroies et quatre poulies; si l'une des courroies venait à se rompre, l'autre était là pour assurer le mouvement du régulateur.

Plusieurs constructeurs, voulant parer à toute chance d'emballement, ont cherché à produire l'arrêt automatique de leurs machines dans le cas où le régulateur viendrait à ne plus agir, par suite de la rupture de l'organe qui le commande, courroie ou arbre. C'est là une sécurité très grande et une innovation intéressante.

Le problème a été résolu assez facilement pour les machines Corliss et similaires.

M. Brasseur, de Lille (*Pl. 28, fig. 1*), emploie la disposition suivante : un levier B peut tourner autour d'un axe horizontal A fixé au support vertical S du régulateur. A son extrémité il porte une branche d'équerre E qui vient au-dessus de la queue des palettes P qui commandent les obturateurs V. Quand les boules tombent, le levier ou brimbale F s'abaisse, la vis de butée D vient appuyer sur une bague C du levier et fait abaisser celui-ci, la branche d'équerre appuie sur la queue des palettes qui alors n'actionnent plus les obturateurs, et la machine s'arrête. Mais, pour que la machine puisse être remise en marche, il faut que les palettes puissent se rabaisser; on fait glisser la bague C qui est mobile en C′ et la vis D n'étant plus en contact avec le levier, celui-ci n'appuie plus sur la queue des palettes qui peuvent alors actionner la tige de commande des obturateurs. Quand la machine est en marche, il faut remettre la bague C′ en C.

MM. Lecouteux et Garnier (*Pl. 28, fig. 2*), emploient une disposition analogue :

Le levier de commande des palettes ou brimbale A porte à l'arrière une saillie B qui vient s'appuyer, quand les boules tom-

bent, sur la queue suffisamment prolongée des palettes, de façon à produire le décliquetage ; la machine s'arrête donc. Pour la remettre en marche, on relève un peu, au moyen d'un levier *ad hoc*, le manchon du régulateur de façon à dégager les palettes et on maintient le manchon dans cette position au moyen d'un verrou qui vient agir sur la tige de commande du frein à huile. Lorsque la machine est lancée, le mécanicien doit avoir soin de retirer le verrou, pour que l'arrêt automatique puisse se produire.

Dans les machines, système Frikart, construites par MM. Matter et Cie, de Rouen, le même résultat est obtenu de la façon suivante (*Pl. 28, fig. 3*) : le régulateur commande un levier à trois branches B par l'intermédiaire de l'axe *b*. La position *b* correspond au haut de la course du régulateur, c'est-à-dire à la vitesse maxima ; la position *b'* à l'admission nulle, c'est-à-dire à la vitesse minima, le régulateur en marche normale doit donc varier de *b'* à *b* ; enfin, la position *b''* correspond au bas de la course du régulateur. Le couteau C et la queue B prennent des positions correspondantes C, C' C'' et B B' B''. On voit que le déclic F, entraîné par le levier E, vient rencontrer le levier G monté sur l'axe de l'obturateur, l'entraîne avec lui et l'admission de la vapeur se produit ; mais quand le levier B occupe la position B'', c'est-à-dire quand le régulateur est au bas de sa course, la queue F' du déclic vient rencontrer la queue B'' ; l'encliquetage ne peut plus se produire et il n'y a plus d'admission.

La mise en route se fait en soulevant le régulateur, ou bien avant l'arrêt de la machine, en glissant une pièce spéciale qui empêche le régulateur de tomber complètement au bas de sa course : à la mise en route, cette pièce sort d'elle-même.

M. Farcot (*Pl. 28, fig. 4 à 4 d*), emploie pour ses machines à quatre tiroirs une disposition différente. Sur la pédale d'enclenchement F se trouve un doigt *n* qui vient en regard d'une des deux cames *k'* reliées par des balles I et I' au manchon du régulateur. Cette came est circulaire, sauf sur une partie de sa circonférence où elle porte une bosse *k'*. Le réglage est fait de telle sorte que si les boules du régulateur viennent à tomber, la bosse vient en contact avec le doigt *n* ; la pédale d'enclenchement se trouve alors écartée de l'axe de l'obturateur, et l'enclenchement ne peut plus se produire pour l'ouverture du tiroir. Pour remettre en marche, on agit sur le régulateur au moyen d'une vis et d'un volant à main en faisant remonter le manchon, ce qui fait tourner la came et dégage le doigt de la pédale d'enclenchement, qui, elle-même, sollicitée

par le ressort qui la commande, se trouve en position pour produire l'encliquetage du tiroir. Il faut que le mécanicien ait soin, quand la machine marche, de dégager la vis qui sert à remonter le manchon, pour que celui-ci puisse agir. On voit donc qu'avec ces machines, on a toute sécurité relativement à l'emballement.

Notons, en passant, que cette disposition permet d'arrêter et de mettre la machine en marche sans toucher à la valve d'admission de vapeur, en faisant descendre ou monter le régulateur. Il en résulte cet avantage très important, c'est que la valve d'admission restant ouverte pendant l'arrêt, la chemise du cylindre reste toujours en communication avec la chaudière, et par conséquent demeure pleine de vapeur qui empêche le refroidissement du cylindre.

Il est nécessaire, au sujet de l'arrêt automatique des machines à vapeur quand le régulateur cesse d'agir, de parler d'une précaution sans laquelle des accidents peuvent arriver et se sont, du reste, déjà produits.

C'est lorsqu'on se trouve dans le cas de machines couplées, et que chacune des machines est munie d'un régulateur. Si ces régulateurs sont indépendants l'un de l'autre, il peut arriver que l'un d'eux, venant à cesser son action pour une cause accidentelle, l'entrée de la vapeur dans le cylindre de la machine sur laquelle il est monté est fermée automatiquement, mais l'autre machine continuant à marcher entraîne la première à vide, et il peut en résulter un coup d'eau si les machines sont à condensation ; le fait s'est déjà produit. Pour éviter cet inconvenient, il faut rendre les deux régulateurs dépendants l'un de l'autre. On peut, comme le font MM. Lecouteux et Garnier, les commander par un même arbre, qui reçoit lui-même son mouvement de l'arbre du volant par une courroie ou un arbre et engrenages pour chaque machine, de telle sorte que si un des organes de transmission vient à manquer, celui qui reste actionne les deux régulateurs à la fois, et les deux machines continuent à marcher.

On peut aussi rendre solidaire le mouvement des deux leviers qui agissent sur les queues des palettes pour produire l'arrêt automatique, en les réunissant par des bielles articulées, de telle sorte que si une machine est arrêtée par suite ds la rupture de l'organe de transmission d'un des régulateurs, l'autre machine est arrêtée également.

C'est la disposition adoptée par M. Jeantin, directeur de la filature d'Hirson (*Pl. 28, fig. 1*), à la suite d'un accident produit jus-

tement par l'indépendance de régulateurs de machines couplées.

Une autre solution, employée souvent, est de ne mettre qu'un régulateur pour les deux machines.

2° Des moyens d'obtenir l'arrêt rapide des transmissions.

Lorsqu'un accident se produit dans une usine, qu'un ouvrier est pris dans l'engrenage d'une machine ou qu'il est saisi par ses vêtements par un arbre de transmission, si on pouvait arrêter de suite cette machine ou cette transmission, on arriverait souvent, si ce n'est à empêcher l'accident, du moins à l'atténuer considérablement.

Que se passe-t-il la plupart du temps en l'état actuel?

Lorsqu'on voit un ouvrier pris par un engrenage ou un arbre de transmission, quelqu'un court immédiatement à la chambre de la machine à vapeur pour avertir le mécanicien, qui ferme aussitôt son admission de vapeur. Mais, si rapidement que tout cela soit exécuté, il s'écoule un temps bien plus que suffisant pour que l'accident soit devenu irrémédiable; de plus, quand le mécanicien a fermé l'admission de vapeur, la machine ne s'arrête pas pour cela. Entraînée par le volant, elle marche encore pendant un certain temps.

Il est donc nécessaire, pour arriver à un arrêt rapide, d'employer des dispositions spéciales. Généralement on se contente dans les usines, où on s'est préoccupé de la question, de mettre les diverses salles ou ateliers en communication avec la chambre de la machine au moyen de sonnettes, de telle sorte que la première personne qui voit un ouvrier en danger n'a qu'à tirer un cordon ou presser sur un bouton pour prévenir le mécanicien d'avoir à arrêter aussitôt sa machine. On comprend facilement que ce moyen, quoiqu'un peu plus rapide que le précédent, est encore insuffisant comme demandant trop de temps pour arriver à l'arrêt complet. Dans beaucoup d'usines d'importance moyenne le mécanicien est en même temps chauffeur, il peut être occupé à sa chaudière au moment où il entend le signal; il faut donc qu'il courre à son robinet de fermeture, d'où perte de temps; enfin il reste toujours l'entraînement dû à la force vive du volant augmentée de celle des poulies et engrenages montés sur la transmission.

Il faut donc recourir à d'autres dispositions.

La plus simple et la plus recommandable est de fractionner la

transmission en plusieurs parties qu'on peut rendre indépendantes les unes des autres, de telle sorte que si un accident se produit dans un endroit quelconque de l'usine, on peut arrêter de suite par une manœuvre simple et rapide la transmission correspondante. Celle-ci, soustraite à l'action du moteur et de son volant, s'arrête très rapidement. Les moyens employés pour réunir les diverses parties des transmissions sont : la poulie folle placée à côté de la fixe et sur laquelle on fait glisser la courroie de commande, quand les arbres sont parallèles, ou bien les manchons d'embrayage, quand les arbres sont en prolongement les uns des autres.

Les manchons d'embrayage généralement employés sont de deux sortes: à griffes ou à friction.

Les manchons à griffes ne doivent pas être employés dans ce cas, car on ne peut pas embrayer en marche, il se produit des secousses qui causeraient une détérioration rapide de la transmission. Or, le fractionnement des transmisssions n'est pas seulement utile pour produire l'arrêt rapide en cas d'accidents, qui ne se produisent heureusement que rarement, mais il est aussi utile en bien d'autres cas; pour remonter une courroie tombée, par exemple, sans arrêter le moteur général de l'usine, ce qui occasionne une perte de temps, et il faut alors pouvoir embrayer en marche.

Les manchons d'embrayage à friction seuls permettent de le faire quand ils sont bien établis, parce que l'embrayage peut avoir lieu progressivement et sans secousse.

Dans ces dernières années on a imaginé de nombreux types d'embrayage à friction; nous ne les décrirons pas, car cela nous entraînerait trop loin; il nous suffira de citer l'embrayage Deliège, construit par M. Piat, qui est souvent appliqué et qui consiste en des secteurs pressés contre la surface à entraîner au moyen de ressorts puissants agissant normalement à l'arbre; ceux de M. Brancher et de M. Gambaro, construits par M. Huré, consistant en une série de lames d'acier successives dont l'action est basée sur le principe de l'enroulement des flexibles, etc. Dans la section belge de l'Exposition se trouvait l'embrayage fort original de M. R. Snyers, dit embrayage à brosse, très employé, paraît-il, en Belgique, et composé de brosses métalliques venant frotter contre l'organe à entraîner, qui est strié. Les Allemands avaient exposé à Berlin un grand nombre de types d'embrayage à friction, reposant la plupart sur un principe analogue à celui de l'embrayage Deliège.

Tous ces embrayages se manœuvrent à la main au moyen d'un levier ou par une vis. Pour éviter encore une perte de temps, on peut les manœuvrer à distance en déclenchant un contrepoids qui agit de façon à produire le désembrayage du manchon ; ce déclenchement s'obtient, soit en tirant sur des cordons aboutissant à différents points de l'atelier, soit au moyen de l'électricité en appuyant sur un bouton pour fermer un circuit électrique. De cette façon toutes les pertes de temps sont supprimées.

On peut rendre l'arrêt de la transmission encore plus rapide en faisant commander par le même levier qui actionne le débrayage, un frein qui agit sur une poulie et absorbe par le frottement la force vive du volant et de tous les organes de la transmission.

Un exposant de Berlin, M. Fritz Deimel, a eu l'idée originale de rendre l'arrêt de la transmission automatique en cas d'accident. Voici comment il y est parvenu (*Pl. 28, fig. 5 et 5a*). L'arbre de transmission porte par l'intermédiaire de douilles folles, deux tringles en fer placées de chaque côté et qui lui sont parallèles. En marche normale, pour que ce système ne soit pas entraîné par l'arbre, il est équilibré par des contrepoids suspendus à des chaînettes passant sur des galets de retour et reliés aux deux tringles.

Si un ouvrier est saisi par l'arbre, il vient heurter aussitôt une des deux tringles qui est entraînée ; le mouvement, transmis par une chaîne, déclanche un contrepoids qui produit le débrayage d'un manchon et le serrage d'un frein sur une poulie, de telle sorte que l'arrêt a lieu très rapidement, sans le secours de personne.

Cet appareil très ingénieux compliquerait évidemment beaucoup les transmissions, et je doute qu'il soit d'une application bien pratique. Je dois dire cependant que j'ai vu un certificat délivré par une usine allemande où il est appliqué, dans lequel on déclare qu'il donne complète satisfaction.

Il est recommandé également par l'Association des mécaniciens-chauffeurs allemands.

Mais il peut se trouver bien des cas où le fractionnement de la transmission n'est pas possible. Une autre solution se présente alors, c'est de rendre tout l'ensemble des transmissions indépendant du moteur qui les met en mouvement ; c'est-à-dire de placer à l'origine de la transmission, près du moteur, un débrayage. Mais pour que l'arrêt soit aussi rapide que possible, il faut que ce débrayage soit commandé à distance, de façon que de points nom-

breux des ateliers on puisse, aussitôt qu'on aperçoit un ouvrier en danger, manœuvrer l'appareil et produire l'arrêt.

A ma connaissance trois dispositions de ce genre existent à Paris : à l'imprimerie Chaix, rue Bergère ; chez M. Lemaréchal, laminеur de métaux, rue Chapon, et chez MM. Palyart et Cie, imprimeurs à Saint-Ouen. Dans les deux premières usines le manchon d'embrayage est du même type (*Pl. 28, fig. 6*) : ce sont deux plateaux, l'un fixe calé sur l'arbre du volant, l'autre mobile longitudinalement monté sur l'arbre principal de transmission en regard du premier. Sur une partie de leur face intérieure se trouvent des dents qui entrent l'une dans l'autre et assurent la solidarité des deux arbres comme dans les manchons à griffe. Sur le reste des faces intérieures des plateaux qui ne sont pas en contact, se trouvent des saillies présentant une courbure héliçoïdale ; si dans l'intervalle qui sépare les faces intérieures des deux plateaux vient se placer un levier tournant autour d'un tourillon parallèle à l'axe du manchon, celui-ci fait l'office d'un écrou fixe dans la rainure hélicoïdale, écarte le plateau mobile du plateau fixe, et le désembrayage se produit.

A l'imprimerie Chaix où, je dois le dire en passant, on ne néglige rien en ce qui concerne la sécurité des ouvriers et qui peut passer pour un modèle à ce point de vue, le rabattement du levier dans la rainure est obtenu par l'électricité au moyen d'un appareil très ingénieux. De nombreux boutons sont disséminés dans les ateliers et il suffit de presser sur l'un d'eux pour obtenir le fonctionnement de l'embrayage et l'arrêt de toutes les transmissions. Cet arrêt se produit très rapidement au bout de 3 à 4 secondes.

Chez M. Lemaréchal, le rabattement du levier est obtenu en tirant sur une tringle (*Pl. 28, fig. 6*) ; on obtient ainsi très rapidement l'arrêt des laminoirs à la transmission desquels s'applique seulement le débrayage.

On pourrait employer tout autre système de débrayage, en le commandant à distance par le déclenchement d'un contrepoids, comme nous le disions tout à l'heure.

Chez M. Palyart, imprimeur à Saint-Ouen (*Pl. 28, fig. 7*), l'indépendance de la transmission du moteur a été obtenue d'une autre façon. Contre la courroie de commande qui s'enroule sur le volant de la machine à vapeur est un long levier vertical ayant un point de rotation à sa partie inférieure ; il est sollicité à appuyer sur la courroie par un contrepoids porté par une chaînette, mais il est retenu à son extrémité supérieure, en marche normale,

par un deuxième levier horizontal sur lequel on peut agir de plusieurs points de l'usine au moyen de cordons de tirage. Quand on tire un de ces cordons, il soulève le deuxième levier qui dégage le premier ; celui-ci appuie alors sur la courroie et la fait tomber du volant sur un support placé au-dessus de l'arbre pour la recevoir. Les transmissions de toute l'usine se trouvent donc subitement séparées du moteur et s'arrêtent très rapidement. En même temps qu'en tirant sur un des cordons on produit la chute de la courroie, on déclenche un petit contrepoids suspendu par une ficelle qui en se déroulant actionne un petit marteau de sonnerie, de façon que le chauffeur qui pourrait être occupé à sa chaudière est prévenu et vient aussitôt arrêter la machine à vapeur.

Cette dernière précaution est en effet nécessaire, car en séparant ainsi brusquement un moteur de la transmission qu'il commande, il y a un danger qu'il est nécessaire de signaler.

La machine se trouvant ainsi subitement tourner à vide pourrait avoir tendance à s'emballer si elle n'est pas munie d'un excellent régulateur de vitesse et en parfait état.

La sonnette prévenant automatiquement le chauffeur de venir de suite arrêter sa machine n'est qu'un palliatif qui n'est peut-être pas suffisant, car il faut peu de temps à une machine pour s'emballer. Il serait facile de compléter ces dispositions en faisant que le moyen d'action qui produit le désembrayage de la transmission, produise en même temps la fermeture de l'entrée de la vapeur dans le cylindre.

Enfin si aucune des dispositions précédentes ne pouvait être appliquée, il y a une troisième solution qui est de produire à distance l'arrêt de la machine à vapeur et d'annuler en même temps la force vive du volant.

L'arrêt de la machine à vapeur à distance est assez facile à obtenir ; le *Bulletin de la Société industrielle de Rouen* indiquait un moyen fort simple (*Pl. 28, fig. 8 et 8a*). Sur la conduite de vapeur du cylindre, on place un papillon dont l'axe porte un levier actionné par un contrepoids qui tend à faire fermer ce papillon. Celui-ci est maintenu ouvert en marche normale au moyen d'une came fixée sur son axe et portant une encoche dans laquelle s'engage un cliquet qui termine le bras d'un levier dont l'autre bras est relié par des cordons de tirages à divers points de l'usine. Il suffit de tirer sur un des cordons pour dégager le contrepoids et fermer le papillon.

M. Renesson fils, fabricant de drap à Sedan, a imaginé une dis-

position dans laquelle il emploie l'électricité comme moyen de transmission. (*Pl. 28, fig. 9*). Sur l'axe du clapet de fermeture d'admission de vapeur dans le cylindre est une poulie à gorge G sur laquelle s'enroule une corde tendue par un contrepoids; cette corde passe sur une poulie de renvoi fixée au plafond afin de donner au poids une course suffisante.

Ce poids tend sans cesse à dérouler la corde et par suite à fermer le clapet; mais une saillie *m* fixée sur la circonférence de la poulie vient buter contre une barre AB qui l'empêche d'agir. Cette barre est sollicitée à dégager la saillie *m* de la poulie par un ressort à boudin R, mais elle est maintenue en place par un levier C sur lequel elle vient buter; un aimant M en attirant une pièce de fer doux reliée à ce levier ED le soulève, le ressort à boudin attire la barre qui dégage la poulie, le contrepoids agit alors sur elle et produit la fermeture de l'entrée de vapeur.

Pour les machines Corliss il est facile de produire le même effet (*Pl. 28, fig. 1*) en agissant par des cordons de tirage G sur le levier B prolongé dont nous avons parlé à propos de l'arrêt automatique de ces machines en cas de la rupture de la commande de leur régulateur; ce levier venant appuyer sur la queue des palettes les relève, et la distribution ne fonctionne plus.

Les trois dispositions dont je viens de parler ne satisfont qu'à une des conditions du problème. On peut produire à distance l'arrêt de la machine à vapeur, mais non l'arrêt rapide de la transmission toujours soumise à la force vive du volant.

MM. Brault et C^ie^, à la tuilerie de Choisy-le-Roi (*Pl. 28, fig. 10 à 10c*) ont adopté une disposition donnant satisfaction à cette dernière condition. La salle de la machine est reliée aux diverses parties de l'usine par des sonneries.

Quand on sonne, le mécanicien vient de suite fermer l'entrée de vapeur et serre un frein sur le volant de façon en absorber l'inertie. Ce frein se compose simplement d'un sabot fixé au bout d'un court levier et actionné par un autre levier très long qu'on manœuvre à la main.

Cette disposition a le défaut de ne pas être automatique et d'exiger du mécanicien plusieurs manœuvres qui constituent une perte de temps qui doit être évitée. Elle ne donne donc pas non plus une entière satisfaction. J'ai alors songé à la compléter en la rendant automatique; cette étude a été faite avec le concours de M. Arquembourg, inspecteur de l'Association des Industriels de France contre les accidents.

La fermeture de la conduite de vapeur et l'action du frein sur le volant se produisent simultanément en tirant sur un cordon d'un point quelconque de l'usine et, par conséquent, l'arrêt a lieu très rapidement. Cette disposition avait été étudiée pour l'usine de M. Émile Muller, à Ivry, mais la mort de notre regretté ancien président en a retardé l'application.

Elle comprend (*Pl. 28, fig. 11 à 11g*) un sabot en bois dur *a* (*fig. 11d*) agissant sur le volant et contenu dans une boîte en fonte; des boulons permettent de le faire glisser dans cette boîte pour rattraper l'usure. Il est fixé à l'extrémité d'un petit levier *c* et commandé par un grand levier *e*. L'extrémité de ce levier *e*, qui porte un contrepoids *f*, passe entre les branches d'une pièce *g* en U renversé (*fig. 11e et 11f*) et est maintenu en l'air par un verrou *h*, commandé par un levier d'équerre dont la branche *i* est reliée à une bielle *t*. Dans cette position du levier *e* le volant est libre.

La bielle *t* se termine par une fourche (*fig. 11b et 11c*) et est reliée par l'axe *r* à l'étrier *u*, équilibré par un contrepoids *v* suspendu à une corde qui passe sur deux poulies de retour (*fig. 11*).

Entre les branches de l'étrier, passe un levier *n* (*fig. 11b*) portant à son extrémité un contrepoids et calé sur l'axe *o*. Il est maintenu horizontal par un verrou *k*, dont les deux branches d'équerre tournent autour de l'axe *l*. La branche horizontale est reliée à une bielle, reliée elle-même à des cordons de tirage aboutissant à plusieurs points des ateliers. L'axe *o* est prolongé (*fig. 11*) jusqu'à la rencontre du tuyau d'amenée de vapeur *p* et commande un papillon placé dans ce tuyau.

Quand on tire sur la bielle *m*, le verrou *k* se dégage de l'encoche du levier *n*; celui-ci, abandonné à lui-même, tombe en faisant tourner l'axe *o* qui ferme alors le papillon et empêche l'arrivée de la vapeur dans le cylindre de la machine. Le levier *n* en tombant vient appuyer sur l'axe *r*, fait descendre l'ensemble de l'étrier et de la bielle *k*, le verrou *h* est dégagé, le grand levier *e* tombe et serre le frein sur le volant qui est très vite arrêté, puisque la vapeur n'agit plus sur le piston. Avec une perche on soulève le levier *n* jusqu'à ce que le verrou *k* soit engagé dans l'encoche, le verrou *g* est ramené à sa place, grâce au contrepoids *v*, et l'appareil est prêt à fonctionner de nouveau. On remarquera qu'en soulevant à la main la tige *t*, on peut dégager le levier *e* sans mettre en jeu le reste de l'appareil et manœuvrer ainsi le frein à la main.

Dans le bel album publié par l'Association pour prévenir les

accidents de fabriques de Mulhouse, intitulé : « Collection de dispositions et d'appareils destinés à éviter les accidents de machines », se trouve une disposition pour arrêter une machine à vapeur à distance rapidement. Elle est appliquée dans l'usine de MM. Dollfus-Mieg et Cie, à Dornach *(Pl. 29, fig. 12 à 12 d)*. Le déclenchement du contrepoids qui met les divers organes en mouvement est obtenu par l'électricité. Dès que le courant est établi trois mouvements se produisent :

1° Fermeture de la valve d'admission de vapeur ;

2° Fermeture du robinet du condenseur ;

3° Ouverture d'un robinet de vapeur actionnant un frein qui est destiné à annuler la force vive du volant.

Sur le tiroir de la machine est fixée une boîte T *(fig. 12c)*, portant un tourillon *h* sur lequel tourne un tambour *t* venu de fonte avec une roue à rochet *r*. Une corde K, fixée par l'une de ses extrémités à ce tambour traverse la boîte sur sa face intérieure, passe sur deux galets de renvoi G et G′ *(fig. 12)*, et supporte par son autre extrémité un poids P guidé par deux tiges verticales Z Z′ le long du massif de la machine.

Le moyeu du tambour *t* porte un partie carrée *f* sur laquelle on peut agir au moyen d'une clef à manivelle X, de façon à enrouler la corde K sur le tambour et à soulever le poids P jusqu'au haut de sa course, en P_1. Un cliquet à ressort *c* s'applique contre les dents du rochet *r*, maintient le tambour et le poids dans cette position. Le moyeu de ce cliquet porte en dessous une dent *d*.

Sur l'arbre de commande du régulateur est calé un excentrique E communiquant à une tige longitudinale H un mouvement de rotation alternatif, qui est transmis par le triangle I à un levier coudé *l l′* mobile autour du tourillon *i*. La branche *l′* de ce levier actionne à son tour une platine en fer doux *p* qui repose librement sur une petite goupille *g* du levier, d'une part, et sur une cheville fixe *g′* de l'autre, et qui se trouve ainsi animée continuellement d'un mouvement de va-et-vient.

Cette platine *p* est munie d'une dent d_1 qui, pendant la marche, passe dans la dent *d* du cliquet sans la toucher, mais qui est mise en contact avec elle aussitôt que la platine est attirée par l'électro-aimant *a*, dont le circuit peut être fermé en divers endroits de l'atelier. Dès lors la dent d_1 entraîne le cliquet, le rochet *r* est dégagé et le poids P tombe.

Sur la valve d'admission V est calée une poulie A sur laquelle s'enroule une corde K′ reliée au poids P. Le diamètre de la pou-

lie A est calculé de façon que la valve soit entièrement fermée lorsque le poids P est à fin de course.

Dans sa chute ce poids P est mis en contact avec le levier L qu'il entraîne, et avec lui le levier coudé M relié par la tringle S au robinet B du condenseur, ainsi que le levier U fixé sur le robinet C du frein. Ce dernier se compose d'un ruban de frein entourant une poulie Q calée sur l'arbre principal de transmission et serré par un piston à vapeur F.

Les Allemands se sont beaucoup occupés de cette question de l'arrêt rapide des transmissions par l'arrêt du moteur, et un grand nombre de dispositions étaient exposées l'année dernière à Berlin ; quelques-unes sont fort ingénieuses. Il leur reste à acquérir la sanction de la pratique ; car la plupart n'ont pas encore été appliquées, et quelques-unes l'ont été seulement dans un petit nombre d'usines et depuis peu de temps. Sous cette réserve, je vous indiquerai celles de ces dispositions qui m'ont paru présenter le plus d'intérêt.

Le système Oehlert *(Pl. 29, fig. 13)*, s'applique aux machines à détente Meyer. La tige T de l'excentrique est reliée au tiroir par une fourche *f*. En agissant sur la tringle *t* fixée au levier coudé *c*, on déclenche le levier à contrepoids Q muni d'un galet *g* qui soulève la tige T et la sépare de la tige du tiroir. Un levier *l* oscillant autour du point fixe *p* et s'appuyant à l'aide d'un ressort *r* contre la goupille *i* de l'excentrique s'oppose à la chute complète du contrepoids tant que le tiroir n'est pas à fin de course. Il en résulte que la pression de la chaudière s'oppose au mouvement du piston et active l'arrêt de la machine. C'est une façon de faire frein et d'annuler la force vive du volant.

Système R. Wolf *(Pl. 29, fig. 14 à 14 b)*, pour machines compound. En soulevant un levier L, le tiroir cylindrique C intercepte la communication entre le petit cylindre et le réservoir intermédiaire. La vapeur emprisonnée dans le petit cylindre s'oppose donc au mouvement de la machine. En même temps la vapeur du réservoir intermédiaire décharge le grand cylindre en s'échappant par le tuyau *t*, qui est mis en communication avec l'extérieur par le mouvement du tiroir C. Quant à la vapeur directe, elle est coupée par l'arbre de commande de la détente à l'aide des bielles *b* et *b'* ; l'arbre A qui commande tous ces mouvements, porte un contrepoids, qui déclenche au moyen d'un cliquet analogue à celui de la disposition précédente.

Le système P. Brennicke et Cie *(Pl. 29, fig. 15)*, s'applique aux

machines à distribution par excentrique avec tiroir à coquille. Il se compose d'un cadre B pouvant tourner autour d'un axe passant par son milieu et terminé en haut par un segment muni de coches dans lesquelles on fixe un levier L de déclenchement, suivant le degré de détente qu'on veut obtenir ; ce levier est relié par des biellesa b c à une coulisse A qui reçoit par une tige le mouvement de l'excentrique et le transmet à la tige du tiroir. Devant la partie inférieure du cadre est un électro-aimant ; quand on fait passer le courant, cette partie inférieure est attirée, le levier de déclenchement est dégagé et la coulisse tombe plaçant le tiroir dans une position telle que l'admission est fermée. La vapeur fait alors frein sur le piston dans le cylindre et l'arrêt se produit très rapidement.

Le système Starke et Hoffmann (*Pl. 29, fig. 16 à 16d*), s'applique à une machine à détente Ryder. Les tiges T et T′ qui transmettent le mouvement du régulateur au tiroir cylindrique sont en deux pièces ; dans la partie supérieure qui est creuse, pénètre un ressort à boudin qui, en temps normal, est maintenu par un cliquet *c* s'appuyant dans une encoche à la partie inférieure. L'on dégage ce cliquet, la tige est attirée et amène ce tiroir dans la position de fermeture complète des lumières.

Le dégagement des cliquets se fait au moyen de deux leviers *l l′* reliés par la tringle *g* au tourillon du levier à contrepoids Q qui actionne un ruban de frein *f* entourant le volant. Le levier Q s'appuie par son extrémité sur un taquet *q* et déclenche par l'intermédiaire d'un marteau *r* maintenu par l'étrier *i* d'un électro-aimant. En fermant le courant, ce marteau vient frapper sur le taquet *q* et fait tomber le levier Q.

Le système Herbertz (*Pl. 29, fig. 17 et 17a*), s'applique aux machines Corliss ; le régulateur est relié aux palettes de distribution par un levier qui peut être déclenché au moyen d'un électro-aimant ; un contrepoids rendu libre agit alors sur les palettes pour les soulever de telle sorte que l'admission reste fermée. C'est un système analogue à celui de M. Jeantin, dont nous avons parlé tout à l'heure.

Le système Proell (*Pl. 29, fig. 18 et 18a*), repose sur un principe différent de ceux que nous venons d'énumérer. La fermeture de l'admission de vapeur est obtenue par une soupape à double siège V reposant pendant la marche de la machine sur un galet *r* par sa tige *s*. Un électro-aimant contenu dans la caisse K agit, quand on ferme le circuit qui le traverse, sur le levier *l* et produit la projec-

tion de côté dans le sens de la flèche du cliquet *h*, déterminant ainsi, l'appui *r* manquant, l'abaissement de la soupape V et par conséquent la fermeture de l'admission de vapeur.

C'est alors qu'entre en jeu la deuxième partie du système comprenant un piston *i* qui glisse dans une capacité en bronze latérale à la soupape et dont on voit la disposition sur la figure 2. Sur sa face de gauche, ce piston est soumis à l'action de la vapeur, et sur sa face droite, il forme obturateur entre le condenseur et l'air extérieur. Quand la soupape vient fermer l'admission de vapeur, le piston du moteur aspire la vapeur se trouvant encore à gauche du petit piston, et celui-ci obéissant alors au ressort *n* se déplace vers la gauche et laisse libre la communication entre le condenseur et l'air extérieur, donnant ainsi naissance dans le cylindre du moteur à un travail résistant qui peut devenir très considérable dans les machines conjuguées en raison du fort diamètre du gros cylindre. Ce système a un autre avantage, c'est qu'il supprime toute chance de coup d'eau dans le cylindre de la machine à vapeur, lors de la fermeture brusque de l'admission de vapeur, si le mécanicien négligeait de fermer l'injecteur du condenseur.

Enfin je vous parlerai d'un dernier système, le système Hambruck, qui m'a paru très original. C'est l'eau comprimée qui sert de transmission pour obtenir l'arrêt de la machine à vapeur et l'action d'un frein sur le volant.

La figure *19* montre l'ensemble d'une installation dans un établissement industriel. La vapeur, engendrée dans la chaudière se rend par la tubulure dans la soupape de sûreté *v*, qui peut intercepter la conduite *q* aboutissant à la boîte à tiroir de la machine à vapeur. Une conduite *t*, de petit diamètre, part du réservoir d'eau de cette chaudière, parcourt tous les locaux de l'établissement et revient vers la soupape de sécurité *v*. Cette conduite est ainsi remplie d'eau en temps normal ; on en empêche la congélation, pendant l'hiver, en la faisant passer dans un récipient chargé de sel, où elle se sature et résiste par cela même au froid. Les robinets à trois voies r_1 r_2 r_3 sont des appareils au moyen desquels on peut interrompre à tout instant la circulation de l'eau dans la conduite *t*. Ils portent extérieurement des branchements raccordés à un tuyau *l* qui conduit dans le réservoir *m* l'eau s'échappant de *t* par suite de la manœuvre d'un robinet.

La soupape de sûreté peut, au besoin, fonctionner seule *(fig. 19b)* ou, ce qui vaut mieux, agir de concert avec le frein prévu pour le volant du moteur. Dans la première disposition, la vapeur entre

par la tubulure *a*, boulonnée sur le dôme de la chaudière, traverse la soupape de sûreté *b* et se rend à la machine. En bas de la boîte *a*, se trouve un cylindre alésé à deux diamètres et pourvu d'un piston différentiel *p'*, *p* dont la plus petite section est tournée vers l'intérieur. Là existe un système de leviers à genouillère *f g e* ayant son point fixe en *g* et reliant *b* à *p'* au moyen des branches *e f*. En *k* se trouve une lumière pour la libre communication avec l'atmosphère de la chambre intermédiaire comprise entre les pistons *p'* et *p*. Enfin, on voit, au bas de l'appareil, le débouché de la conduite d'eau sous pression *t* parcourant l'usine. Ce mécanisme est disposé de telle sorte que la soupape *b* s'ouvre ou se ferme selon que le piston différentiel s'élève ou s'abaisse par suite de la manœuvre d'un des robinets *r*. En effet, lorsque tous ces derniers se trouvent dans la position de la figure 19*e*, le parcours dans la conduite *t* est libre en tous ses points et l'eau qui la remplit est à la pression existant dans le générateur. Comme celle-ci a la même valeur que la tension de la vapeur, le piston différentiel *p'*, *p* est déplacé de bas en haut, puisque *p* est plus grand que *p'* : la soupape *b* est ouverte et l'alimentation de la machine à vapeur s'effectue régulièrement.

Mais si l'on vient à fermer l'un des robinets, on met par cela même toute la portion de la conduite *t*, comprise entre ce robinet et le dessous du piston différentiel, en relation avec l'atmosphère par le tuyau *l*. L'eau que contenait cette portion de conduite s'écoule, et la pression sur le piston *p'* n'étant plus équilibrée, oblige le système *p' p* à retomber. La soupape *b* se ferme instantanément ; en même temps, la vapeur, par sa charge directe, augmente l'herméticité de sa fermeture. L'alimentation de la machine à vapeur se trouve ainsi supprimée jusqu'à ce qu'une pression égale à la précédente réapparaisse sous le piston *p*, par le fait de la fermeture du robinet qui était ouvert.

Il est intéressant d'ajouter qu'une rupture accidentelle des leviers à genouillères détermine toujours la fermeture de la soupape *b*.

Dans les installations où l'action d'un frein sur le volant doit être combinée avec la fermeture de l'admission de la vapeur, on emploie les dispositifs représentés par les figures 19 *c* et 19 *d*.

La soupape de sûreté précédente est remplacée par un tiroir *B*, fixé directement à la tige du piston différentiel *p' p* que contient la boîte *v*, reliée à la chaudière par la conduite *a*. Ce tiroir se déplace devant les orifices l_1, l_2, l_3, lorsque le liquide sous pression

parvient derrière le piston ou disparaît de la conduite 5. La tubulure l_1 porte le tuyau qui va à la boîte à tiroir de la machine, et le tuyau l_3 dessert le frein de la figure.

La figure 19*d* montre la position de cet appareil dans le cas où le travail s'accomplit régulièrement. L'eau sous pression arrivant par le tuyau *t*, repousse le piston différentiel vers la gauche et éloigne par suite le tiroir de la lumière l_1 qui se trouve démasquée ; en même temps, l'orifice de la conduite du frein l_3 communique avec l'atmosphère par la lumière l_2, et *a* se trouve en relation avec l_1.

Au contraire, lorsque les organes de l'appareil prennent la position représentée sur la figure 19*c*, par suite de l'action de la vapeur sur le piston *p'* et de la disparition de la contre-pression en *p*, les tubulures l_1 et *a* ne communiquent plus ensemble et l'admission de la vapeur dans la machine est coupée.

Le tuyau l_1 est alors mis en relation avec l'atmosphère, et la vapeur de la boîte à tiroir du moteur s'échappe librement, tandis que celle de la conduite *a* trouve une issue en l_3 et se rend dans la conduite *h* du frein et dans la chambre *g* où elle presse le sabot *e* du piston *f* sur la jante du volant de la machine *(fig. 19 a)*.

Tels sont, Messieurs, les renseignements que je voulais vous donner sur les deux questions que je viens d'exposer devant vous. Je n'ai pas eu d'autre but, en le faisant, que d'appeler l'attention des industriels et surtout des constructeurs sur deux points de la construction des machines à vapeur qui sont, je crois, étant données les tendances actuelles, appelés à prendre une certaine importance. Vous voyez qu'en Allemagne on s'en est déjà beaucoup préoccupé; je n'ai fait que vous décrire les systèmes qui m'ont paru les plus intéressants, mais il y en avait beaucoup d'autres d'exposés dont je ne vous ai pas parlé, parce qu'ils m'ont paru présenter un intérêt moins grand, ou parce que leur principe était le même que celui d'un des systèmes que je vous ai décrits.

J'estime que les constructeurs français devront entrer dans la même voie, non seulement pour les machines à vapeur, mais aussi pour toutes les autres machines, et qu'ils devront rechercher des moyens simples et pratiques de les rendre inoffensives pour les ouvriers qui sont appelés à les conduire.

C'est le but que cherche à atteindre l'Association des industriels de France contre les accidents, et je serai heureux si par cette communication faite devant vous, j'ai pu moi-même y concourir.

DE L'ÉCHANGE

DE

PLUSIEURS MARCHANDISES ENTRE ELLES

PAR

M. Léon WALRAS

PROFESSEUR D'ÉCONOMIE POLITIQUE A L'UNIVERSITÉ DE LAUSANNE (1)

MESSIEURS,

Nous sommes d'accord, M. le Président Contamin, M. Émile Bert et moi, pour substituer à une analyse de la seconde édition de mes *Éléments d'économie politique pure* (2) qui, faite soit par M. Bert soit par moi-même, ne serait claire qu'à la condition d'être assez développée, la communication originale suivante qui, je crois, vous initiera complètement à ma méthode tout en n'occupant qu'un espace de temps plus en rapport avec l'importance que l'économie politique doit avoir ici.

Dans l'ouvrage que je viens de mentionner, passant de la théorie de l'échange de deux marchandises à la théorie de l'échange de plusieurs marchandises entre elles, et voyant que, dans ce cas, la demande ou l'offre de chacune des marchandises par chacun des échangeurs est fonction non seulement du prix de cette marchandise, mais aussi des prix de toutes les autres, j'ai cru qu'il fallait adopter exclusivement le mode d'expression analytique et se priver du secours des figures. Mais, dès lors, j'ai trouvé un moyen, que je vais vous indiquer sommairement, d'élaborer la théorie dont il s'agit dans le mode de la représentation géométrique (3).

Soit un échangeur porteur des quantités q_a, q_b, q_c, q_d... de marchandises (A), (B), (C), (D)... représentées par les longueurs

(1) Communication faite à la Société des Ingénieurs Civils le 17 octobre 1890.

(2) Paris, Guillaumin et Cie, éditeurs, 1889.

(3) Le tour de démonstration employé ici dans la théorie de l'échange pourrait aisément être employé aussi dans les théories de la production et de la capitalisation,

Oq_a, Oq_b, Oq_c, Oq_d... (Fig. 1) et ayant, de ces marchandises, des besoins exprimés par les courbes $\alpha_q \alpha_r$, $\beta_q \beta_r$, $\gamma_q \gamma_r$, $\delta_q \delta_r$... Je dois vous signaler ces courbes qui sont la base essentielle et fondamentale de toute la théorie mathématique de la richesse sociale.

Il est permis de dire dans le langage ordinaire : « Le besoin que nous avons des choses, ou l'utilité que les choses ont pour nous, diminue au fur et à mesure de la consommation. Plus on mange, moins on a faim ; plus on boit, moins on a soif, du moins en général, et sauf quelques exceptions regrettables ; plus on a de chapeaux et de chaussures, moins on a besoin d'un nouveau chapeau et d'une nouvelle paire de chaussures ; plus on a de chevaux dans son écurie, moins on cherche à se procurer un cheval de plus, toujours sous réserve d'entraînements dont la théorie a le droit de faire d'abord abstraction, sauf à en tenir compte dans tels ou tels cas déterminés. » Eh bien, nous dirons, puisque nous sommes entre mathématiciens : « L'intensité du dernier besoin satisfait est une fonction décroissante de la quantité de marchandise consommée ; » et nous représenterons ces fonctions par des courbes, les *quantités consommées* se portant en ordonnées et les *intensités des derniers besoins satisfaits* en abscisses. Pour ce qui concerne la marchandise (A), par exemple, l'intensité du besoin de notre consommateur, qui serait $O\alpha_r$ au début de la consommation, serait nulle après la consommation d'une quantité $O\alpha_q$, ce consommateur étant alors arrivé à la satiété. Cette intensité du dernier besoin satisfait, je l'appelle, pour plus de brièveté, *rareté*. Les Anglais la nomment *Final degree of utility*, les Allemands *Grenznutzen*. Ce n'est pas une grandeur appréciable ; mais il suffit de la concevoir pour fonder sur le fait de sa décroissance la démonstration des grandes lois de l'économie politique pure.

Soient, à présent, p_b, p_c, p_d... des prix de (B), (C), (D)... en (A) criés au hasard sur le marché. Le premier problème que nous avons à résoudre consiste à déterminer les quantités de (A), (B), (C), (D)..., x, y, z, w..., les unes positives et constituant des quantités demandées, les autres négatives et constituant des quantités offertes, que notre échangeur ajoutera aux quantités q_a, q_b, q_c, q_d... dont il est porteur, ou qu'il en retranchera, de façon à consommer des quantités $q_a + x$, $q_b + y$, $q_c + z$, $q_d + w$... représentées par les longueurs Oa, Ob, Oc, Od... De même que nous nous sommes placés plus haut dans l'hypothèse générale d'un échangeur pour lequel la rareté décroît avec la quantité

consommée, nous nous placerons ici dans l'hypothèse générale d'un échangeur qui cherche dans l'échange la plus grande satisfaction de ses besoins. Or la somme des besoins satisfaits par une quantité Oa de marchandise (A), par exemple, c'est la surface

Fig. 1.

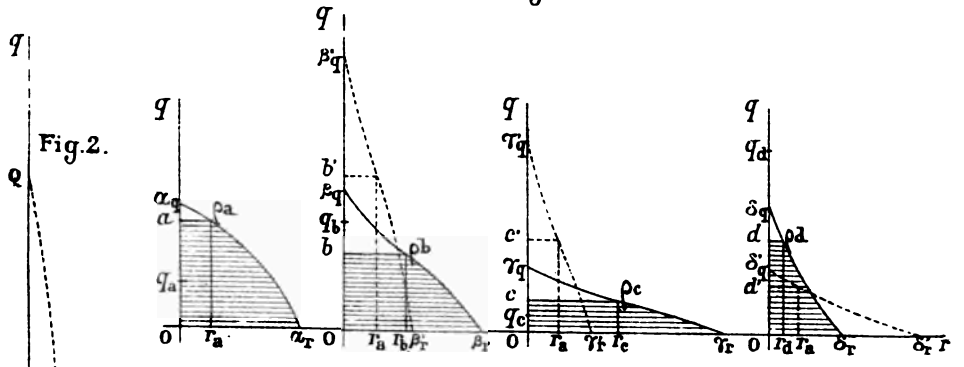


Fig. 2.

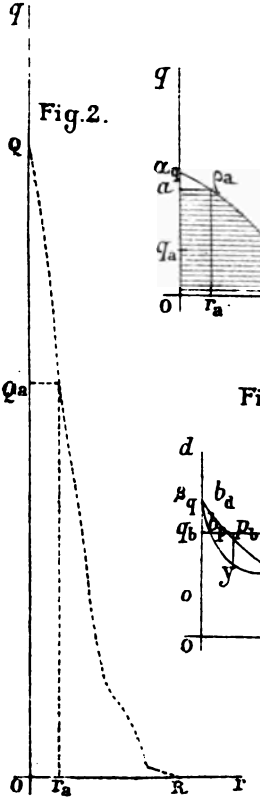


Fig. 3.

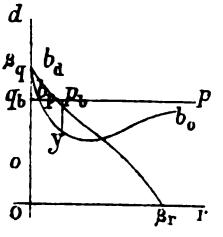
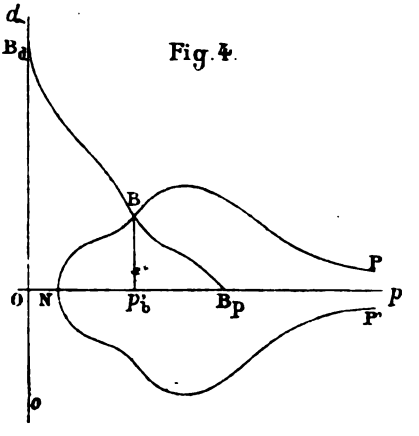


Fig. 4.



$Oa\rho_a\alpha_r$. *L'utilité effective* est l'intégrale définie de la rareté par rapport à la quantité consommée. Par conséquent, le problème dont nous cherchons la solution consiste, en définitive, à déterminer Oa, Ob, Oc, Od... par la condition que la somme des surfaces ombrées $Oa\rho_a\alpha_r$, $Ob\rho_b\beta_r$, $Oc\rho_c\gamma_r$, $Od\rho_d\delta_r$... soit maxima.

Pour fournir cette solution très simplement dans la forme géométrique, je ferai subir aux courbes d'utilité ou de besoin $\beta_q\beta_r$, $\gamma_q\gamma_r$, $\delta_q\delta_r$... la transformation suivante. Je porte, à partir des origines O, sur les axes horizontaux, des abscisses nouvelles

égales au $\frac{1}{p}$ des abscisses anciennes. Et, sur des parallèles aux axes verticaux, menées par les extrémités de ces abscisses nouvelles, je porte, à partir des axes horizontaux, des ordonnées nouvelles égales à p fois les ordonnées anciennes. Dans la figure, $p_b = 2$, $p_c = 3, p_d = \frac{1}{2}$... Comme il est facile de le comprendre, les courbes nouvelles $\beta'_q \beta'_r$, $\gamma'_q \gamma'_r$, $\delta'_q \delta'_r$... représentant l'utilité de (A) employé en (B), en (C), en (D)... ou, en d'autres termes, le besoin que l'échangeur a de (A) pour se procurer du (B), du (C), du (D)...

En effet, si on considère les surfaces $O\beta_q\beta_r$, $O\gamma_q\gamma_r$, $O\delta_q\delta_r$... comme les limites de sommes de rectangles infiniment petits, on doit considérer les surfaces $O\beta'_q\beta'_r$, $O\gamma'_q\gamma'_r$, $O\delta'_q\delta'_r$... comme les limites de sommes égales de rectangles infiniment petits de base p fois moindre et de hauteur p fois plus grande.

Je construis ensuite la courbe QR (Fig. 2) en superposant toutes les courbes nouvelles à la courbe d'utilité ou de besoin de (A), $\alpha_q \alpha_r$, par l'addition de toutes les ordonnées correspondant à une même abscisse. Comme il est encore aisé de s'en rendre compte, cette courbe QR représente l'utilité totale de (A) employé en (A), en (B), en (C), en (D)... ou, en d'autres termes, le besoin total que l'échangeur a de (A) pour se procurer de l'(A), du (B), du (C), du (D)... En effet, si on considère les surfaces $O\alpha_q\alpha_r$, $O\beta'_q\beta'_r$, $O\gamma'_q\gamma'_r$, $O\delta'_q\delta'_r$... comme les limites de sommes de rectangles infiniment petits, on doit considérer la surface OQR comme la limite de la somme totale de tous ces rectangles superposés les uns aux autres par ordre de longueur horizontale.

En portant dans QR l'ordonnée OQ_a représentant l'équivalent en (A) des quantités q_a, q_b, q_c, q_d... aux prix $1, p_b, p_c, p_d$... soit $q_a + q_b p_b + q_c p_c + q_d p_d + \ldots$ on obtient l'abscisse Or_a représentant la rareté de (A) sous forme de (A), de (B), de (C), de (D)... correspondant au maximum d'utilité effective, soit r_a. En portant cette abscisse Or_a dans les courbes $\alpha_q \alpha_r$, $\beta'_q \beta'_r$, $\gamma'_q \gamma'_r$, $\delta'_q \delta'_r$... (Fig. 1), on obtient les ordonnées Oa, Ob', Oc', Od'... représentant les quantités de (A) à consommer sous forme de (A), de (B), de (C), de (D)... les seules marchandises à consommer étant celles pour lesquelles l'intensité du premier besoin à satisfaire est plus grand que r_a. Si on portait les abscisses $Or_a = r_a$,

$Or_b = p_b r_a$, $Or_c = p_c r_a$, $Or_d = p_d r_a$... dans les courbes $\alpha_q \alpha_r$, $\beta_q \beta_r$, $\gamma_q \gamma_r$, $\delta_q \delta_r$... on obtiendrait les ordonnées Oa, Ob, Oc, Od... représentant les quantités de (A), de (B), de (C), de (D)... à consommer. Et ainsi, *à l'état de satisfaction maxima, les raretés sont proportionnelles aux prix* suivant les équations :

$$\frac{r_a}{1} = \frac{r_b}{p_b} = \frac{r_c}{p_c} = \frac{r_d}{p_d} = \ldots$$

Voilà comment, étant données les quantités possédées et les utilités des marchandises, on détermine, pour un échangeur, la demande ou l'offre de chacune de ces marchandises, à des prix criés au hasard, en vue de la satisfaction maxima des besoins. Reste, étant données les demandes et offres des marchandises par tous les échangeurs, à des prix criés au hasard, à déterminer les prix courants d'équilibre en vue de l'égalité de l'offre et de la demande totales effectives. La solution de ce second problème est encore susceptible d'être fournie géométriquement.

Faisons pour un instant abstraction de p_c, p_d... et cherchons d'abord à déterminer provisoirement p_b. Et, pour cela, demandons-nous comment, p_c, p_d... étant supposés constants, les variations de p_b influent sur la demande et l'offre de (B).

Si y est positif, c'est-à-dire si l'échangeur est demandeur de (B), une augmentation de p_b ne peut que faire diminuer y. En effet, si cet échangeur demandait, à un prix supérieur, une quantité égale, il redevrait une différence qu'il ne pourrait payer qu'en diminuant ses quantités de (A), (C), (D)... Mais alors il augmenterait ses raretés de ces marchandises; et, en conséquence, la condition de satisfaction maxima subsisterait d'autant moins. Donc la demande y est trop forte pour un prix supérieur à p_b.

Si y est négatif, c'est-à-dire si l'échangeur est offreur de (B), il y a trois éventualités possibles. Cet échangeur étant supposé offrir, à un prix supérieur, une quantité égale, on lui redoit une différence, et, au moyen de cette différence, il peut augmenter ses quantités et, par suite, diminuer ses raretés de (A), (C), (D)... Alors, de trois choses l'une : ou la différence est insuffisante pour rétablir la condition de satisfaction maxima, ou elle est strictement suffisante, ou elle est plus que suffisante; et, en conséquence, à un prix supérieur à p_b, l'échangeur doit offrir une quantité de (B) ou supérieure à y, ou égale, ou inférieure. Il est certain qu'il se trouvera dans l'un ou l'autre de ces trois cas selon

que l'élévation de p_b sera plus forte; car si, d'une part, cette élévation de p_b abaisse de plus en plus le rapport $\frac{r_b}{p_b}$ par augmentation du dénominateur, cette même élévation de p_b permet, d'autre part, d'abaisser de plus en plus les rapports $\frac{r_a}{1}$, $\frac{r_c}{p_c}$, $\frac{r_d}{p_b}$... par une diminution des numérateurs r_a, r_c, r_d... coïncidant finalement avec une diminution du numérateur r_b lui-même.

La variation de p_b, depuis zéro jusqu'à l'infini, fait donc passer l'échangeur d'abord de la demande à l'offre, puis d'une offre croissante à une offre décroissante. Au prix de zéro, la demande est égale à l'excédent de la quantité nécessaire pour la satisfaction des besoins à discrétion sur la quantité possédée ; au prix de l'infini l'offre est nulle. Dans le cas de l'échange de plusieurs marchandises comme dans le cas de l'échange des deux marchandises entre elles, ces dispositions peuvent se représenter géométriquement, pour un échangeur, par une courbe $b_d\ b_p\ b_o$ (Fig. 3).

Tous les échangeurs étant dans des dispositions, non pas semblables, mais analogues, en ce qui concerne la marchandise (B), il est clair qu'il faut ajouter toutes les courbes partielles de demande en une courbe totale, toujours décroissante, $B_d\ B_p$ (Fig. 4), toutes les courbes partielles d'offre en une courbe totale, successivement croissante et décroissante, de zéro à zéro, si on la prend positivement, NP', et faire tourner cette dernière autour de l'axe horizontal, de façon à l'amener dans la position NP. L'abscisse Op'_b du point d'intersection B des deux courbes $B_d\ B_p$ et NP sera provisoirement le prix courant d'équilibre pour lequel l'offre et la demande effectives totales de (B) seront égales. Cette intersection des deux courbes $B_d\ B_p$ et NP peut d'ailleurs avoir lieu, soit à un moment où la seconde s'élève, soit à un moment où elle s'abaisse.

Il ressort de la nature des courbes qu'on obtiendra le prix courant provisoire de (B) en faisant la hausse en cas d'excédent de la demande effective sur l'offre effective et en faisant, au contraire, la baisse en cas d'excédent de l'offre effective sur la demande effective. Passant alors à la détermination du prix courant de (C), puis du prix courant de (D)... on les obtiendra par le même moyen. Il est bien vrai qu'en déterminant le prix de (C), on pourra détruire l'équilibre par rapport à (B), qu'en déterminant le prix de (D), on pourra détruire l'équilibre par rapport à (B) et par rapport

à (C), et ainsi de suite. Mais, comme les déterminations des prix de (C), de (D)... auront, sur le rapport de la demande et de l'offre de (B), des effets en sens contraire, on sera toujours plus près de l'équilibre à la seconde reprise du tâtonnement qu'à la première. Nous rentrons ici dans la théorie du tâtonnement telle que je l'ai exposée dans mon ouvrage et en vertu de laquelle *on arrive à l'équilibre du marché en faisant la hausse du prix des marchandises dont la demande est supérieure à l'offre et la baisse du prix de celles dont l'offre est supérieure à la demande.*

Grâce à l'emploi concurrent de l'expression analytique et de la représentation géométrique, nous avons ici non seulement l'idée mais l'image du phénomène de la détermination des prix, sur le marché, dans le cas de l'échange de plusieurs marchandises entre elles ; et, en cela, selon moi, nous en possédons enfin la théorie. Quelques critiques se sont pourtant égayés du nombre de pages que j'employais à démontrer qu'on doit arriver au prix courant en faisant la hausse en cas d'excédent de la demande sur l'offre et la baisse en cas d'excédent de l'offre sur la demande. — « Et vous, ai-je dit une fois à l'un d'eux, comment le démontrez-vous ? — Mais, me répondit-il un peu surpris et même assez embarrassé, cela a-t-il besoin d'être démontré ? Il me semble que c'est une chose évidente. — Il n'y a d'évident que les axiomes, et ceci n'en est pas un. Mais vous sous-entendez, je suppose, ce raisonnement, que Jevons a formulé explicitement dans son petit traité de *Political Economy*, savoir que la hausse, faisant nécessairement diminuer la demande et augmenter l'offre, amène l'égalité en cas d'excédent de l'une sur l'autre... — Précisément. — Eh bien ! il y a là une erreur : la hausse fait nécessairement diminuer la demande ; mais elle ne fait pas nécessairement augmenter l'offre. Si vous êtes offreur de vin, il se peut très bien que vous en offriez moins au prix de un million la pièce qu'au prix de mille francs, moins au prix de un milliard qu'au prix de un million, et cela parce que vous aimeriez mieux boire votre vin vous-même qu'user des superfluités que vous pourriez vous procurer en le vendant au delà d'une certaine limite. De même pour le travail : on conçoit parfaitement qu'un homme, qui offrirait dix heures de son temps par jour au prix de 1 *f* l'heure, n'en offrit plus que quatre au prix de 10 *f* et qu'une seule au prix de 100 *f*. On voit tous les jours, dans les grandes villes, des ouvriers, quand ils gagnent 20 ou 25 *f* par jour, ne plus travailler que trois ou quatre jours par semaine. — Mais, s'il en est ainsi, comment la hausse

est-elle un moyen d'arriver au prix courant? — C'est ce que la théorie vous expliquera. Deux individus peuvent se rejoindre soit en marchant en sens contraire l'un de l'autre, soit en marchant dans le même sens, si l'un va plus vite que l'autre. L'offre et la demande s'égalisent tantôt de la première manière, tantôt de la seconde. »

Importe-t-il, oui ou non, de démontrer rigoureusement les lois fondamentales d'une science? Messieurs, on compte aujourd'hui je ne sais combien d'écoles en économie politique : l'école *déductive* et l'école *historique*, l'école *du laisser-faire* et l'école *de l'intervention de l'État* ou du *socialisme de la chaire*, l'école *socialiste* proprement dite, l'école *catholique*, l'école *protestante*. Pour moi, je n'en reconnais que deux : l'école de ceux qui ne démontrent pas et l'école, que j'aspire à voir se fonder, de ceux qui démontreront leurs énonciations. C'est en démontrant rigoureusement les théorèmes élémentaires de la géométrie et de l'algèbre, puis les théorèmes de l'analyse et de la mécanique qui s'en déduisent, pour les appliquer à des données expérimentales, qu'on réalise les merveilles de l'industrie moderne. C'est ainsi que vous procédez tous ; c'est ainsi, pour ne citer qu'un seul exemple, que notre président, M. Contamin, a pu calculer avec précision la résistance des matériaux de l'admirable Galerie des Machines de l'Exposition du Centenaire. Procédons de même en économie politique, et nous parviendrons sans doute à construire l'édifice économique et social qui, tel que l'ont bâti les économistes de l'école littéraire, ne paraît pas des plus solides.

CHRONIQUE

N° 133

Sommaire. — Appareils auxiliaires des grandes machines marines actuelles. — Ancienne expérience calorimétrique sur une machine à vapeur. — Locomotives du chemin de fer de Chignecto. — Le gaz naturel aux États-Unis. — Personnel des machines des grands paquebots. — L'électricité en Suisse. — Concours international pour l'utilisation des forces du Niagara.

Appareils auxiliaires des grandes machines marines actuelles. — M. William Henry Allen a fait le 13 janvier, à l'*Institution of Civil Engineers*, une communication relative aux appareils auxiliaires des machines marines, appareils dont l'emploi a commencé avec celui des condenseurs à surface et s'est considérablement développé à mesure que les moteurs des navires à vapeur acquéraient de plus grandes dimensions et étaient soumis à des conditions de service de plus en plus difficiles.

Pompes de circulation. — Le mémoire décrit diverses dispositions des pompes, destinées à faire circuler l'eau dans les condenseurs à surface, le type qui, employé pour la première fois dans l'*Arizona*, a été réalisé avec les dimensions maxima sur l'*Umbria* et le modèle appliqué sur les grandes machines à triple expansion des paquebots du *North German Lloyd*. L'introduction de la triple expansion a eu une influence heureuse sur la réduction des dimensions de ces appareils, les quantités respectives d'eau de circulation étant, en moyenne, de 550 *l* par cheval indiqué et par heure pour les machines compound, et de 300 seulement pour les machines à triple expansion. Dans les grands appareils, la vitesse la plus convenable pour les pompes centrifuges est aux environs de 150 tours par minute, ce qui permet encore d'avoir des machines légères et donne une sécurité suffisante contre les avaries auxquelles ces appareils sont exposés avec des vitesses exagérées. On a renoncé dès lors à avoir des pompes en double, comme on l'avait fait à l'origine. De même, on est revenu à l'emploi de la fonte, depuis que l'expérience a prouvé qu'elle résistait aussi bien que le bronze à l'action de l'eau de mer. Les dimensions des différentes parties des appareils de condensation sont toujours proportionnées d'après les mêmes règles et, à la connaissance de l'auteur, il n'a jamais été fait d'expériences spéciales sur la question. On peut admettre que le frottement au passage de l'eau dans les tubes, combiné avec la vitesse à laquelle cette eau y pénètre, ainsi que la résistance propre des pompes de circulation équivaut à une colonne d'eau de 1,50 *m* à 3 *m;* ce serait la hauteur à laquelle la pompe doit être capable d'élever le volume d'eau de circulation nécessaire.

Si on compare le travail effectif représenté par ce volume multiplié par la hauteur, au travail indiqué développé sur les pistons des machines

qui actionnent les pompes de circulation, on trouve qu'avec des vitesses modérées, le rapport est d'environ 50 0/0. La vitesse de l'eau dans les tubes ne dépasse guère, en général, 3 *m* dans la marine commerciale, mais sur les navires de guerre on va plus loin : il n'est pas rare de voir donner à l'eau de circulation des vitesses de 4,50 *m* par seconde, le rendement des pompes en diminue d'autant.

Sur les navires à deux hélices, pour plus de sûreté, on établit des communications croisées, de telle sorte qu'en cas d'avarie à une des pompes, celle qui reste intacte puisse assurer la circulation dans les condenseurs des deux machines. Ce système a été appliqué tout récemment sur le nouveau paquebot-poste *Empress of India* et sur deux navires jumeaux construits pour le *Canadian Pacific Railway*. Les communications dont nous venons de parler sont munies de vannes pour diriger l'eau dans le sens nécessaire ; chaque pompe a deux machines motrices dont chacune a la puissance nécessaire pour assurer la circulation dans le condenseur de la machine principale correspondante, de sorte que les deux machines réunies peuvent fournir à la pompe le travail pour la circulation de l'eau dans les condenseurs des deux machines principales. Cette disposition a l'avantage d'assurer en outre une capacité considérable d'épuisement en cas de voie d'eau.

Pompes à air indépendantes. — La pratique de séparer entièrement les pompes à air et d'alimentation des machines principales et de les actionner par un moteur spécial ne s'est pas répandue beaucoup, mais il y a des exemples de cette disposition, qui a donné de très bons résultats. Les cylindres à vapeur sont verticaux et placés à la partie supérieure ; leurs tiges commandant une traverse à la partie centrale de laquelle s'attelle la tige de la pompe à air, et de chaque côté sont fixées les tiges des pompes d'alimentation, de cale, etc. ; aux extrémités de la traverse sont deux bielles qui actionnent les manivelles d'un arbre portant un petit volant. On rencontre cette disposition sur le *Normannia* et quelques autres navires de la même classe.

Ventilateurs pour tirage forcé. — Le tirage forcé par ventilateurs a été introduit sur une grande échelle sur les navires faisant des services à grande vitesse pour des distances relativement faibles : d'abord, dès 1883, sur les paquebots de la *City of Dublin Mail Steam Packet Company*, faisant le service de Holyhead à Dublin ; il s'est répandu sur presque tous les paquebots desservant les côtes de la Grande-Bretagne, parmi lesquels on peut citer : les bateaux entre Belfast et Glascow, Liverpool et l'île de Man, Liverpool et Llandudus, les bateaux du London and North Western, les bateaux du Great Western entre Weymouth et les îles de la Manche, ceux de New-Haven à Dieppe, de Douvres à Calais, les bateaux de la Compagnie Néerlandaise, entre Queensborough et Flessingue.

Le tirage forcé ne s'est pas, comme on sait, limité aux applications de cet ordre et il s'est introduit sur les lignes transatlantiques aussi bien que sur d'autres, notamment sur celles d'Australie, le *Holt's China Line*, l'*Orient Line*, etc. Actuellement, on emploie des pressions d'air depuis 10 *mm* d'eau jusqu'à des valeurs beaucoup plus élevées ; l'auteur ne croit

pas qu'il y ait intérêt à dépasser 20 *mm* ; au delà on s'expose à beaucoup d'inconvénients. Des expériences faites de divers côtés ont montré qu'il était très difficile de fixer des règles pour la quantité d'air à faire débiter aux ventilateurs. Sur les bateaux de Queensborough à Flessingue, on a réduit de 0,45 *m* le diamètre des ventilateurs et on a obtenu le même résultat qu'auparavant.

Les ventilateurs servent non seulement à augmenter le tirage, le tirage naturel étant insuffisant pour la production de vapeur, mais on peut dire qu'ils assurent dans certains cas le tirage qui sans eux n'existerait pas, lorsque par exemple le vent refoule la fumée dans les cheminées ; il est à peu près impossible dans ces conditions, en l'absence de ventilateurs, de tenir la pression malgré les efforts des chauffeurs ; c'est ce qui arrive fréquemment dans les parages des vents alisés et des moussons.

Les ventilateurs sont actionnés directement par des cylindres à vapeur ; la transmission par courroies est à peu près impossible à installer à cause du manque de place et la poussière et la graisse les mettraient dans des conditions extrêmement désavantageuses. Les ventilateurs, fonctionnant à des vitesses très considérables, doivent être fixés avec une grande solidité. Il serait tout à fait insuffisant de les boulonner contre une cloison, sans les supporter convenablement ; on aurait ainsi des vibrations insupportables et peut-être des accidents graves. La vitesse est en relation avec le diamètre et la pression à donner à l'air. Mais on peut regarder une vitesse de 250 à 350 tours par minute comme la plus convenable pour des parcours considérables ; à ces vitesses l'usure n'est pas excessive. Le rendement combiné du ventilateur et de son moteur n'est pas élevé. Avec des moteurs de 1,30 à 1,80 *m* de diamètre, l'auteur a trouvé qu'on obtenait un maximum de 42 0/0. Il est bon de donner aux cylindres moteurs un bon diamètre pour pouvoir forcer la pression de l'air en cas de besoin ; on arrivera à ce résultat en ne comptant que sur un revenu de 35 0/0.

Appareils de renversement. — C'est à peu près en même temps que les pompes centrifuges qu'on a commencé à employer dans les machines marines le système mécanique de commande des coulisses de distribution. La première disposition qui est encore employée sur toutes les machines de médiocres dimensions est celle qui est connue en Angleterre sous le nom de *round-about*. Elle se compose d'un cylindre à vapeur de 12 à 20 *cm* de diamètre agissant sur une transmission à roues dentées actionnant les coulisses. La manœuvre d'un robinet ou d'un tiroir qui introduit la vapeur d'un côté ou de l'autre du cylindre à vapeur, place les coulisses dans la position convenable pour la marche. Cette disposition est la meilleure pour les machines au-dessous de 150 chevaux pour lesquelles la place ne manque pas. Avec cet arrangement il est très facile de réchauffer les cylindres avant le départ en admettant un peu de vapeur, tantôt dans une extrémité, tantôt dans l'autre, au moyen du changement de marche.

Si cette disposition a été, comme nous l'avons dit, conservée pour les petites machines, elle a été remplacée d'une manière absolue pour les

grandes par le système à action directe dans lequel un cylindre à vapeur, dont le piston a son déplacement réglé par celui du piston d'un cylindre à huile, agit directement sur l'arbre de relevage des coulisses. On dispose quelquefois cet appareil sous forme de servo-moteur, de manière que le mouvement du levier qui commande le tiroir du cylindre à vapeur détermine un déplacement correspondant du piston et par suite des coulisses; la résistance du piston à huile suffit pour maintenir celles-ci dans la position qu'on leur a donnée. L'emploi du cylindre à huile a grandement facilité l'application de ce dispositif.

Machines pour l'éclairage électrique. — L'emploi de l'éclairage électrique est un des progrès les plus récemment introduits sur les navires, mais il s'est propagé avec une extrême rapidité et on l'applique aujourd'hui aux navires de charge aussi bien qu'à ceux destinés au transport des voyageurs.

Il faut l'avoir apprécié par soi-même pour comprendre la différence de confortable entre l'éclairage électrique et l'éclairage à l'huile à bord d'un navire.

Au point de vue de la commande des dynamos on a essayé toutes les machines possibles: turbines à vapeur, machines à trois cylindres, machines à simple et à double effet, fermées ou non, à grande et à petite vitesse; il semble résulter de l'expérience que les machines à double effet disposées spécialement pour la commande des dynamos constituent le moteur le plus convenable pour l'éclairage électrique des navires. On peut actuellement diviser ces appareils en deux types : celui adopté par l'Amirauté, dans lequel on a recherché avant tout un rendement élevé et un fonctionnement économique. et celui de la marine marchande, où on préfère la sécurité à l'économie; on a toutefois introduit dans quelques-uns des grands transatlantiques les plus récents des machines à fonctionnement économique.

Il n'y a guère lieu de poser la question du choix à faire entre les divers modes de transmission de la puissance aux dynamos, car la commande directe est universellement adoptée aujourd'hui; il est facile de comprendre que l'emploi des courroies ou des engrenages présente des inconvénients majeurs dans les conditions où on se trouve à bord des navires, comme on a déjà eu occasion de l'indiquer au sujet des ventilateurs.

Les progrès réalisés dans l'installation des appareils pour la lumière électrique ont été amenés en grande partie par les concours ouverts par l'Amirauté, lesquels ont inspiré des études et des recherches qui ont beaucoup fait avancer la question. Le rendement a été amélioré et la quantité de vapeur absorbée par les moteurs notablement réduite par l'emploi de pressions plus élevées et de la condensation. Les détails des machines ont été perfectionnés au point de vue de la facilité d'accès, de la simplicité et de la durée. Le type à deux cylindres actionnant des manivelles à 180° qui est exclusivement adopté par l'Amirauté donne beaucoup moins de vibrations que le type à cylindre unique employé de préférence dans la marine marchande, à l'exception de quelques-uns des plus grande paquebots. Les armateurs trouvent ces dernières ma-

chines plus simples et plus faciles et réparer par les moyens ordinaires du bord.

Les dynamos à l'usage de la marine ont été également très perfectionnées dans ces derniers temps. Le type qui donne le plus de satisfaction est une machine dont l'armature se compose d'un arbre en acier, sur lequel est calé un manchon en fonte portant des disques en tôle douce, le tout formant un tambour, à l'extérieur duquel le fil conducteur est enroulé.

Toutes les parties sujettes à dérangement sont visibles, facilement accessibles et peuvent être réparées par les agents chargés de la conduite des machines. La tension la plus convenable paraît être aux environs de 60 volts, ce qui suffit pour les lampes à incandescence aussi bien que pour les appareils de projection.

Si on considère que la lumière électrique sert dans le port aussi bien qu'à la mer, et que, par conséquent, les machines de l'éclairage sont parmi celles qui ont à faire le service le plus actif et le plus prolongé, on comprend que la question de l'économie de fonctionnement n'est pas sans importance. L'auteur a trouvé que le rendement des appareils d'éclairage avec des moteurs à double effet s'élève dans certains cas à 83 0/0. On trouve fréquemment 80 0/0 avec les appareils ordinaires employés dans la marine marchande.

Les machines qui viennent d'être passées en revue sont loin d'être les seules qu'on rencontre aujourd'hui à bord des navires à vapeur. On peut ajouter les machines d'alimentation qui sont généralement du type à action directe à deux cylindres accolés et sans volant, les pompes à eau chaude pour réchauffeurs Weir, les appareils à faire le froid, les machines à gouverner, la petite machine pour tourner les grandes à froid, les compresseurs d'air employés lorsqu'on ventilait les cabines par insufflation, les treuils à escarbilles, etc. La diversité de ces appareils exigerait pour en examiner tous les détails un développement si considérable que l'auteur a dû se borner à traiter les points essentiels.

Ancienne expérience calorimétrique sur une machine à vapeur. — La Bibliothèque de la Société des Ingénieurs civils contient un ouvrage autographié intitulé : « Conférence sur les faits pratiques les plus intéressants concernant les machines à vapeur fixes ou mobiles, faite dans la session 1843-44 à l'École royale des Ponts et Chaussées ». Il n'y a pas de nom d'auteur, mais le catalogue de la Bibliothèque de l'École des Ponts et Chaussées accole à cet ouvrage le nom de Frimot, ingénieur en chef des Ponts et Chaussées. Frimot fut constructeur de machines en Bretagne et établit les machines d'épuisement d'une forme du port de Brest et des chaudières avec eau dans les tubes pour bateaux. Il paraît avoir eu sur les machines à vapeur des idées assez avancées pour l'époque et nous pensons que la citation suivante de l'ouvrage que nous venons de signaler présente un intérêt d'autant plus grand qu'elle émane d'un homme qui avait eu la pratique des machines comme constructeur.

M. Frimot dit (XVII[e] conférence, p. 32 *bis*), que : « l'emploi des condenseurs tubulaires (condenseurs à surface) a permis de faire une expé-

rience fort intéressante sur la condensation du gaz aqueux (vapeur) dans le corps de pompe (cylindre).

» Il s'agit de chercher quelle est la quantité de vapeur qui, introduite dans le corps de pompe, s'y est condensée sans qu'il y ait eu aucune cause apparente de refroidissement et n'a par conséquent pu produire aucun effet utile. Nous supposerons le piston principal bien fait et ne laissant pas perdre de vapeur ; la machine marche lentement et à pleine pression ; la tension de la vapeur dans le cylindre doit peu différer de celle qui existe dans la chaudière.

» Dans un temps donné, nous connaîtrons le nombre des coups de piston, par suite la capacité totale qu'il a engendrée, par suite aussi le volume de vapeur qui a empli le cylindre et, comme sa tension est aussi connue, on a le poids de ce volume de vapeur et, par conséquent, le nombre d'unités de chaleur qu'il contenait, sachant que 1 *kg* de vapeur, quelle que soit sa tension, en supposant l'eau introduite à 0° dans la chaudière, contient 643 unités de chaleur (1).

» D'un autre côté, plaçons un thermomètre dans les deux réservoirs A et B d'où part et où se rend l'eau qui opère la condensation (par surface). Observons, au commencement et à la fin du temps pendant lequel nous avons compté le nombre des coups de piston, la température des réservoirs, puis aussi la quantité de liquide qui a passé de A en B.

» Evidemment le volume de ce liquide, multiplié par la différence de température des deux réservoirs (si ces températures n'ont pas varié pendant la durée de l'expérience et, si elles ont varié, il sera facile de les corriger convenablement dans le calcul) donnera la quantité de chaleur que le liquide a reçue et qu'il n'a pu prendre qu'au condenseur.

» Si aucune fraction du gaz aqueux ne s'est condensée dans le corps de pompe, nécessairement le nombre d'unités de chaleur déduit de la connaissance de son volume et de sa tension doit être égal à celui déduit de l'observation des températures du liquide qui a servi à opérer la condensation. *Or, il n'en est rien ;* ce dernier est beaucoup plus considérable et, dans un grand nombre d'expériences, M. Frimot a pu constater qu'il s'élevait à deux fois le premier. L'appareil offre, du reste, une vérification facile, c'est la mesure d'une certaine quantité de chaleur contenue dans l'eau condensée que l'on peut recueillir dans le réservoir A et qui a toujours été sensiblement la même que celle du liquide servant à la condensation.

» Il résulte de tout ceci qu'il se perd dans le cylindre une fraction notable de la quantité de chaleur du gaz aqueux et que le rapport de cette perte à la quantité produite atteint 0,4 et 0,5, et que cette chaleur perdue se retrouve dans le condenseur. De quelle manière a-t-elle pu s'y rendre? C'est ce que jusqu'ici l'expérience a été impuissante à déterminer, et on ne pourrait à cet égard qu'énoncer certaines hypothèses qui, quelque plausibles qu'elles puissent être, ne sauraient trouver place ici. »

Nous ignorons si ce dernier passage fait allusion aux faits si remarquables signalés par Combes dans sa communication à l'Académie des

(1) Le fait constaté par les expériences de Regnault que la quantité de chaleur contenue dans 1 *kg* de vapeur varie avec la tension, n'infirme en rien le raisonnement de l'auteur.

sciences du 3 avril 1843, faits déduits des relevés de diagrammes d'indicateurs effectués par L. Thomas sur des machines sans enveloppe.

Frimot dit plus loin, (p. 51 *bis*) :

« Il y a condensation du gaz aqueux en quantité quelquefois considérable dans les corps de pompe qui ont acquis depuis longtemps le degré de chaleur de ce fluide. Or, le liquide ainsi produit, en supposant qu'il reste sous forme de pluie très fine, ne peut laisser complètement secs les fonds et les parois des cylindres. De là une accumulation d'eau dans la région inférieure de ces corps de pompe. »

L'auteur insiste à diverses reprises sur la nécessité de pourvoir aux moyens d'évacuer cette eau mais sans s'expliquer sur la manière dont la chaleur mise en liberté par la condensation de la vapeur qui l'a produite passerait au condenseur, ainsi que l'indique l'expérience signalée plus haut. On sait que plusieurs savants, parmi lesquels Zeuner, admettent que l'eau déposée dans les cylindres joue le rôle d'éponge de calorique. Rien ne permet de supposer que Frimot ait eu en vue l'action des parois indiquée par Combes comme jouant un rôle capital dans le fonctionnement des machines à vapeur.

Quoi qu'il en soit, on peut voir dans l'expérience ci-dessus l'embryon des essais calorimétriques qu'on effectue maintenant sur les machines à vapeur et, à ce titre, il nous a paru intéressant de rappeler ce fait.

Le même procédé a, d'ailleurs, été employé par M. Ch. Emery en 1866, pour apprécier l'influence de la nature des surfaces intérieures des cylindres sur la condensation de la vapeur. (Voir Chronique de décembre 1886, page 801).

Locomotives du chemin de fer à navires de Chignecto. — Les locomotives, au nombre de quatre, qui devront opérer la traction sur le chemin de fer construit pour faire franchir aux navires l'isthme de Chignecto, entre le golfe du Saint-Laurent et la baie de Fundy, sont faites par les Canadian Locomotive and Engine Works, à Kingston (Ontario). Ce sont des machines tender à adhérence totale, portées sur huit roues de 47 pouces, 1,194 *m* de diamètre ; les cylindres ont 0,560 *m* de diamètre et 0,660 *m* de course. La chaudière a 1,483 *m* de diamètre et contient 256 tubes de 2 pouces, donnant une surface de chauffe tubulaire de 162 m^2 et une surface totale de 175 *m* ; la grille a 2,70 m^2. Les caisses à eau contiennent 13 500 *l* d'eau. Le poids total en service est de 81 500 *kg*, ce qui fait plus de 20 *t* par essieu. Il est vrai que les rails d'acier pèsent 54 *kg* par mètre courant. Il y a deux voies, dont les axes sont écartés de 5,50 *m* d'axe en axe.

Deux machines semblables traineront un navire de 2 000 *t* de déplacement, porté sur un ber reposant sur vingt trucks à quatre roues, à une vitesse de 16 *km* de niveau et en alignement droit. Le chemin de fer ayant une longueur de 27 *km*. le trajet proprement dit pourra s'effectuer en deux heures au plus. La plus grande inclinaison ne dépasse pas 5 0/00.

Le gaz naturel aux États-Unis. — Ce qu'on avait dit relativement à l'épuisement prochain des sources de gaz naturel en Pensylvanie ne parait pas s'être confirmé. Quoi qu'il en soit, la Compagnie du Gaz

naturel de Pittsburg n'alimente pas actuellement moins de 27000 chauffages particuliers et 1 200 fabriques ou établissements industriels, employant 14 millions de mètres cubes par jour.

Les puits de l'Indiana produisent environ 5,5 millions de mètres cubes par jour, et ceux de l'Ohio 8,5, soit, avec la production précédente, un total de 28 millions de mètres cubes de gaz, volume qui, s'il était entièrement utilisé, représenterait le pouvoir calorifique de près de 15 millions de tonnes de combustible par an, d'une valeur de 11 250 000 *f*, au taux très modéré de 7,50 *f* la tonne.

La consommation de 1889 a été plus que triple de celle de 1885; mais une enquête poursuivie par la Compagnie a fait constater que le gaspillage du gaz avait pris des proportions énormes dans certaines usines métallurgiques : on peut citer une forge où, du samedi soir au lundi matin, on consommait 20 000 m^3 de gaz, pour empêcher les fours de se refroidir.

On estime que, dans les usines de Pittsburg, 50 0/0 du gaz est perdu, faute de précautions, et par l'emploi de méthodes de chauffage peu rationnelles. Dans une forge où l'on dépensait 600 m^3 de gaz par tonne de fer produit, chiffre relativement peu élevé, on a pu, avec de nouvelles améliorations, baisser le chiffre à 450 m^3, soit une économie de 25 0/0. Cette question a une importance de premier ordre dans ces régions industrielles.

Personnel des machines des grands paquebots. — Sur les grands transatlantiques de la ligne Inman, *City of Paris* et *City of New-York*, il y a soixante chauffeurs pour servir les cinquante-quatre foyers des neuf chaudières d'acier qui fournissent de vapeur ces puissantes machines; il y a cinquante hommes pour amener le charbon des soutes au parquet des chaudières devant les foyers.

La tâche du chauffeur ne consiste pas uniquement à jeter des pelletées de charbon dans les foyers; le chargement doit être fait avec intelligence, de manière que le charbon ne brûle pas trop vite et aussi qu'il n'étouffe pas le feu.

Le chauffeur doit savoir la meilleure manière de se servir du charbon de Galles à l'aller et du charbon américain au retour. Ces deux espèces de combustibles ne doivent pas être employés de la même manière. Plus d'une fois le résultat d'une traversée de retour en Europe a dépendu de la manière dont le personnel des chauffeurs savait utiliser le combustible américain.

Le métier des chauffeurs sur les transatlantiques est très dur. On ne voit guère parmi eux d'hommes de plus de quarante-cinq ans. Les chauffeurs du *City of Paris* et du *City of New-York* sont des hommes de vingt-cinq à trente ans. Ils reçoivent 100 *f* par mois et la nourriture. Les chefs ont quelque chose de plus et un travail moins dur; on les prend parmi les plus anciens chauffeurs. Les soutiers, dont l'ambition est de passer chauffeurs, gagnent 87,50 *f* par mois et leurs chefs un peu plus.

Le service est divisé en six quarts de quatre heures chacun. Les hommes travaillent quatre heures et se reposent autant. Après le pre-

mier jour de voyage, on décrasse deux foyers sur six pendant la première heure de chaque quart, de sorte que tous les foyers sont décrassés une fois par vingt-quatre heures. La pression baisse un peu pendant cette opération.

Les chauffeurs ont à charger environ 15 *t* par heure, soit 340 *t* par vingt-quatre heures. Le navire embarque généralement 3 000 *t* à Liverpool et en a encore 500 à 800 *t* dans ses soutes en arrivant à New-York.

Le département des mécaniciens est entièrement séparé de celui des chauffeurs.

Sur le *City of Paris* il y a 26 mécaniciens, y compris ceux qui sont chargés des appareils hydrauliques et électriques. On les prend parmi des ouvriers d'atelier qui embarquent à tour de rôle ; ce sont tous des monteurs ou ajusteurs capables de faire toutes les réparations nécessaires à bord. Le mécanicien en chef a un certain nombre d'adjoints, qui peuvent tous le remplacer en cas de besoin. Ces renseignements sont donnés par l'*American Engineer*.

L'électricité en Suisse. — A la fin de 1889, les appareils électriques fonctionnant en Suisse se composaient de 51 155 lampes à incandescence, 845 lampes à arc, 536 machines dynamo-électriques avec 9 600 chevaux de force effective et 41 accumulateurs. Il y avait 347 installations électriques, dont 343 à courants continus et 4 seulement à courants alternatifs (Brunnen, Lucerne, Vevey-Montreux et Wald).

La force motrice consiste dans 177 cas, soit 50,4 0/0, en moteurs hydrauliques ; dans 138 cas, soit 39 0/0, en moteurs à vapeur ; dans 32 cas, soit 9 0/0, en moteurs à gaz, et le reste, soit 4 cas ou 1 0/0, en électro-moteurs.

Les transmissions de force, qui ont en Suisse un intérêt tout spécial à cause des nombreux cours et chutes d'eau, fonctionnent au nombre de 24. Les forces transmises varient de 2 à 280 chevaux ; la distance franchie, de 5 à 20 kilomètres ; 76 électro-moteurs sont employés à cet effet et transmettent collectivement une puissance de 2 329 chevaux.

Concours international pour l'utilisation des forces du Niagara. — La Commission internationale, chargée d'apprécier les différents projets pour l'utilisation des chutes du Niagara, s'est réunie à Londres, le 28 janvier, et a rendu son verdict le 4 février.

On se souvient que la Cataract Construction Company, qui a obtenu de l'Etat de New-York le monopole d'utilisation de la force du Niagara, avait ouvert un concours en juillet dernier pour la création d'une force motrice de 125 000 chevaux et le transport de 75 000 dans un rayon de six kilomètres autour du point où la force était créée, et de 50 000 chevaux à Buffalo, ville industrielle d'environ 300 000 habitants, située à 32 *km* de la chute. En même temps que ce concours était ouvert, la Compagnie nommait un jury international composé de : sir William Thomson, professeur à l'Université de Glascow, président de la Société royale, président ; M. le professeur Mascart, membre de l'Institut, ancien président du jury d'électricité à l'Exposition de 1889 à Paris ; M. le Dr Coleman Sellers, ingénieur-conseil de la Cataract Construction Company et professeur au Stevens-Institute of Technology à Hoboken, New-York ;

M. le lieutenant-colonel Th. Turrettini, ingénieur, président du Conseil administratif de la ville de Genève. M. le professeur Unwin, de Londres, fonctionnait comme secrétaire.

La Compagnie avait invité à concourir une trentaine de maisons d'Europe et d'Amérique reconnues capables de présenter des projets sérieux.

Sur ce nombre, 21 ont accepté l'invitation. Les concurrents pouvaient présenter ou un projet combiné pour la création de la force hydraulique, sa transmission et sa distribution jusqu'aux centres industriels, ou un projet pour la création de la force hydraulique seule, ou enfin un projet pour la transmission de la force seule.

Une série de prix était mise à la disposition du jury, le premier prix de projet combiné étant de 600 liv. st., le second de 500 liv. st., etc.

Le jury a accordé les prix suivants :

1° Projets combinés de création et de transmission de la force : aucun premier prix. — Un second prix à MM. Fæsch et Piccard et Cuénod, Sautter et Cie, de Genève (électricité). — Quatre troisièmes prix : à MM. A. Hillairet et Bouvier, à Paris (électricité) ; à MM. prof. Riedler, de Berlin, et Victor Popp (air comprimé) ; à M. le profess. Vigreux et Société de transmission de la force, à Paris (électricité) ; à la Pelton Water Wheel Co, San Francisco, et Norwalk Iron Works Co, Connecticut (air comprimé).

2° Projets pour la création de la force hydraulique : 1er prix unique : MM. Escher, Wyss et Cie, à Zurich. — Deux seconds prix : MM. Ganz et Cie, Budapest, et prof. A. Lupton et Sturgeon (Angleterre).

Le jury n'a accordé aucun prix aux projets de transmission et distribution de la force.

Ces faits nous ont paru d'autant plus intéressants à faire connaître que des membres de la Société figurent dans le jury et parmi les lauréats.

COMPTES RENDUS

SOCIÉTÉ D'ENCOURAGEMENT POUR L'INDUSTRIE NATIONALE

Décembre 1890

Rapport de M. Hirsch sur les **expériences de consommation exécutées sur un moteur à gaz, système Lenoir,** de 16 chevaux, construit par MM. Rouart frères.

Le moteur dont il s'agit est à quatre temps ; il est à deux cylindres actionnant un même arbre coudé. Les pistons ont 230 *mm* de diamètre et 400 de course ; le nombre de tours normal est de 160. La compression donne une pression de 2 1/2 *kg* et la pression maxima à l'allumage est de 12 ; l'allumage se fait par une étincelle d'induction ; l'admission et l'échappement s'opèrent par des soupapes en acier.

Les expériences ont eu pour objet de constater la consommation de gaz et la puissance développée sur une poulie calée sur l'arbre.

Le compteur a été préalablement taré en y faisant passer un volume connu introduit dans un réservoir jaugé ; l'erreur reconnue a été, en moyenne, de 4 0/0. Le travail était mesuré par un frein de Prony.

La puissance moyenne pendant une heure, pour 160 tours par minute, a été de 16,13 chevaux, et la consommation par heure de 9 698 *l*, après correction des 4 0/0 indiqués en trop par le compteur, ce qui donne 601,2 *l* par cheval et par heure.

Si on admet 5 300 calories pour la puissance calorifique d'un mètre cube de gaz, ce volume à un équivalent, en travail, de $425 \times 5\,300$, de sorte que le rendement de la machine à gaz observée atteindrait environ 20 0/0, soit le double du rendement thermique des machines à vapeur les plus parfaites.

Notes sur les **machines à percer les trous carrés,** par M. G. Richard.

Le problème du perçage des trous carrés ou polygonaux a été résolu depuis longtemps pour le bois ; mais il ne l'avait été que très imparfaitement jusqu'ici pour les métaux. De récentes machines paraissent avoir eu plus de succès.

La machine de MM. Ainley et Oakes applique un principe déjà employé par Hall savoir un outil à section triangulaire, qui ne coupe que d'un côté et qui est guidé par des galets ou des plaques directrices. Une autre machine, celle de MM. Tyler et Ellis, basée sur le même principe, diffère de la précédente par le mode de guidage de l'outil. Ces machines paraisent pratiques ; mais elles ont le défaut commun de l'emploi d'un

outil uni-latéral, coupant d'un seul côté. moins efficace que les forets ordinaires et exerçant sur son axe des poussées obliques considérables.

L'**Exposition française à Moscou en 1891**, par M. Auguste Moreau.

Voir *Bulletin de la Société des Ingénieurs civils*, octobre 1890, page 632.

Nouvelles expériences sur **la question de la fixation de l'azote libre**, par I. B. Lawes et I. H. Gilbert *(fin)*.

Sonnerie électrique de Wagner. (Extrait du *Dingler's Polytechnische Journal.)*

Cette sonnerie frappe à longs intervalles une série de coups lents et réguliers. Le dispositif est un balancier isolé, mobile autour d'un axe vertical, portant à une extrémité un ressort qui presse contre un buttoir et ferme le circuit. Quand le courant est lancé, le déplacement du contact donne un coup de timbre et met en branle le balancier, le ressort s'écarte du buttoir et le courant est interrompu ; un ressort à boudin antagoniste le ramène à sa première position, le contact est rétabli et un nouveau coup de timbre se produit ; les coups se suivent en moyenne à deux secondes d'intervalle.

Fabrication de pierres artificielles. (Extrait du *Dingl. Polyt. Journal.)*

Ces pierres sont faites avec un mélange de ciment de Portland, de sable, de quartz et granit pulvérisée, la masse est mouillée, puis, pressée dans des moules.

Statistique des accidents dans les diverses industries en **Allemagne.** (Extrait du *Dingl. Polyt. Journal.)*

Ce sont les brasseries qui donnent le chiffre le plus élevé d'accidents, 8.84 par an pour 1 000 personnes associées. Les mines ne viennent qu'après avec 6.39 ; les chemins de fer donnent 3.38.

ANNALES DES MINES

Quatrième livraison de 1890.

Minerais de fer de la France, de l'Algérie et de la Tunisie, analysés au bureau d'essais de l'Ecole des Mines, de 1845 à 1889, par M. Ad. Carnot, Ingénieur en chef des Mines.

Il a paru utile d'extraire des registres du bureau d'essais de l'Ecole des Mines, de grouper et de présenter au public industriel les analyses des minerais de fer provenant du territoire français. Le nombre d'analyses relevées est de 1 796 ; elles sont groupées par départements.

Etude sur la **Statistique des accidents en Allemagne,** par M. M. Bellom, Ingénieur des Mines.

La statistique des accidents du travail est dressée en Allemagne au moyen de relevés établis suivant un formulaire dont le modèle a été dressé par l'office impérial des assurances et qui doit être rempli pour tout accident ayant donné lieu à indemnité.

L'exposition de Berlin en 1889 contenait sept tableaux dressés au moyen de ces documents et donnant :

1° Le nombre et l'importance des établissements ;
2° La gravité et les conséquences des blessures ;
3° La nature des blessures et les parties du corps atteintes ;
4° L'époque à laquelle ont eu lieu les accidents ;
5° La nature des ateliers et des appareils ;
6° Les causes des accidents.

La note reproduit ces tableaux et les commente.

Cinquième livraison de 1890.

Recherches géologiques sur les terrains secondaires et l'éocène inférieur de la région sous-pyrénéenne du sud-ouest de la France (Basses-Pyrénées et Landes), par M. J. Seunes, docteur ès-sciences, préparateur de géologie à l'École supérieure des Mines.

L'auteur fait observer que la géologie de la région sous-pyrénéenne du sud-ouest de la France est beaucoup moins avancée que celle de la plupart des autres régions françaises, ce qui tient principalement aux obstacles apportés dans les observations par des dépôts pliocènes et quaternaires et par la végétation ainsi que par la forme générale de la surface ; les collines sont en général peu élevées, arrondies, sans déchirements et bien cultivées, aussi ce n'est guère que dans les excavations creusées par la main de l'homme, dans quelques carrières et sur les flancs des routes percées à travers la chaine que l'on peut étudier la constitution géologique du pays.

Le mémoire comprend :

1° Le résumé des principaux travaux publiés sur les terrains jurassique et cretacé des Pyrénées à partir de 1854 ;

2° La délimitation de la région étudiée, formée du territoire situé dans l'angle sud-ouest de la France, entre le département des Hautes-Pyrénées et l'Océan et entre la frontière et Dax, territoire appartenant au bassin de l'Adour et embrassant le département des Basses-Pyrénées et une partie de celui des Landes.

Note sur la **Statistique des accidents** dans les mines allemandes, par M. M. Bellom, Ingénieur des Mines.

Le nombre des accidents, au contraire de ce qui se passe dans les autres pays, a sans cesse augmenté pendant ces dernières années. On attribue cette augmentation du nombre des accidends aux causes suivantes :

1° Accroissement du personnel employé dans les travaux ;
2° Emploi d'ouvriers étrangers inexpérimentés ;

3° Inobservation des ordres données par l'autorité administrative et des mesures de sécurité prescrites par les exploitants ; cette inobservation est le résultat immédiat des grèves ;

4° Inattention des ouvriers les dimanches et fêtes, ainsi qu'à la suite de la paye.

Dans cette situation, la corporation minière, sur la pressante invitation de l'Office impérial des Assurances, a adressé à tous ses membres les instructions relatives à l'établissement d'une nouvelle statistique des accidents des mines dont l'objet est de déterminer les risques et les causes d'accidents des différentes exploitations. La note a pour objet de signaler les moyens par lesquels le comité directeur de la corporation espère atteindre ce résultat. Elle expose des dispositions générales et de détail servant à l'établissement des cartes statistiques ainsi que le modèle de ces cartes dont il est établi à chaque accident autant qu'il y a eu de personnes blessées ou tuées.

SOCIÉTÉ DE L'INDUSTRIE MINÉRALE

DISTRICT DE SAINT-ÉTIENNE

Séance du 6 décembre 1890.

Communication de M. Rateau sur la **théorie des ventilateurs.**

Cette communication a pour objet d'établir que la théorie des ventilateurs, présentée par M. Murgue dans une précédente séance, n'est qu'approximative, et qu'on doit employer avec circonspection les formules auxquelles elle aboutit ; les hypothèses mêmes sur lesquelles repose la théorie sont discutables ; par exemple : la supposition que le fluide en mouvement dans la roue se déplace par tranches, ce qui ne se réalise pas en pratique. Toutefois, l'auteur admet que la théorie dont il fait la critique ne doit pas être abandonnée, car, jusqu'à ce qu'une autre meilleure ait été édifiée, elle peut donner d'utiles indications, tout approximative qu'elle est. D'ailleurs, dans la plupart des cas, un résultat approché suffit. A la suite de la discussion qui a suivi, il a été nommé une Commission pour faire des expériences sur les ventilateurs qui existent dans le bassin de la Loire.

Communication de M. Raveaud sur un **procédé de sondage.**

L'auteur passe d'abord en revue les divers procédés de sondage : le sondage à la corde ou sondage chinois, le plus ancien et qui est revenu plusieurs fois avec des perfectionnements très ingénieux (système Freminville, Fauvel, etc.), le système classique à tiges de sonde, le système rotatif avec couronne de diamants.

Le nouveau système de M. Raveaud répond aux objections formulées

contre les précédents et réalise les desiderata indiqués. Dans ce système, l'appareil foreur opère à la fois le fonçage, l'élargissement du trou et le découpage d'nn échantillon. Il se compose d'un trépan, qui est un bloc d'acier cylindrique sur lequel s'emmanche la maîtresse-tige. Le long de cette tige peut coulisser un marteau suspendu par des câbles à un collier fixé à l'extrémité inférieure des tiges ordinaires. Au-dessus du marteau est le panier à soupape, qui doit recevoir les déblais du fonçage.

Les avantages principaux de cette disposition, dont nous ne pouvons donner que l'idée générale en l'absence de figures, sont, d'abord, dans le doublement de l'effet utile du battage, car le soulèvement des tiges commence par soulever le marteau qui, une fois levé de h, par exemple, soulève à son tour le trépan, de h', ou laisse ensuite retomber le tout en chute libre. On obtient alors deux chocs. Le premier, du trépan, tombant sur la roche de h'; le second, du marteau, qui tombe sur le trépan de $h + h'$; on obtient ainsi pour chaque chute deux coups presque simultanés.

Un second avantage est dans le curage continu qui s'opère pendant le battage par un panier terminé par une soupape. Le panier laisse filtrer l'eau et ne garde que les déblais; on n'a donc à remonter que ceux-ci lorsqu'on ramène tout l'appareil au jour.

Comme le trépan coulisse le long des tiges, on laisse celles-ci dans le trou de sonde lorsqu'on remonte le trépan, ce qui évite la nécessité de visser et dévisser les tiges et la perte de temps qui en résulte.

Au point de vue des éboulements, on a une garantie sérieuse, parce que l'appareil foreur tout entier se trouve dans l'intérieur d'une colonne de tubes qui descend comme l'appareil lui-même, au fur et à mesure de l'avancement.

Documents intéressant les mines à grisou :

1° Circulaire ministérielle du 1er août 1890 relative à la réglementation des explosifs à employer dans les mines à grisou et dans les mines poussiéreures dont les poussières sont inflammables;

2° Modèle d'arrêté préfectoral annexé à la circulaire ministérielle du 1er août 1890;

3° Circulaire ministérielle du 8 août 1890 relative à la réglementation de la fermeture des lampes de sûreté dans les mines grisouteuses.

INSTITUT ROYAL DES INGÉNIEURS NÉERLANDAIS (1)

Livraison du 24 octobre 1890.

Discussion sur la proposition d'une commission nommée pour étudier les **moyens de mettre Amsterdam en communication avec la mer sans intermédiaire d'écluses**. L'assemblée a voté des

(1) Résumé communiqué par M. J. de Koning.

fonds pour faire dresser un avant-projet par M. Huet, assisté d'une commission.

Livraison du 20 décembre 1890.

Etude de M. Vaes sur la **transformation du mouvement rectiligne en mouvement circulaire** par bielle et manivelle.

Epreuves du pont de chemin de fer sur le canal Amsterdam-Merwede. — Ces épreuves sont décrites en détail avec les instruments qui ont été employés et les conclusions qu'on en a tirées.

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS ALLEMANDS

N° 51. — *20 décembre 1890.*

Expériences sur l'écoulement de l'eau par déversoirs, par F. Frese *(suite)*.

Séparation du fer des eaux de sources ferrugineuses, par G. Oesten.

Perfectionnements dans les machines-outils à travailler les métaux, par H. Fischer.

Essais et résistance des ciments.

Groupe du Rhin-Inférieur. — Eclairage électrique des villes.

Bibliographie. — Aide-mémoire de l'architecte.

Correspondance — Utilisation des combustibles. — Accident à la machine à triple expansion du vapeur du lac de Constance, *Prinz-Regent*.

N° 52. — *27 décembre 1890.*

Expériences sur l'écoulement de l'eau par déversoirs, par F. Frese *(fin)*.

Construction navale. — Résistance des coques des navires de charge, par A. Schmidt.

Marteau pilon à fonctionnemeut compound, par J.-E. Reinecker.

Action oblique des roues sur les rails, par le Dr H. Zimmermann et A. Goering.

Variétés. — Législation des patentes d'invention. — Production de l'acier aux États-Unis.

N° 1. — 3 *janvier* 1891.

Nouveaux navires à grande vitesse de guerre et de commerce, par C. Busley.

Pont du Forth, par G. Barkhausen.

Installation frigorifique des abattoirs de la ville d'Heilbronn.

Perte du croiseur-torpilleur anglais *Serpent* et avaries de la canonnière anglaise *Sandfly*, par A. Schmidt.

Bibliographie. — Encyclopédie des sciences naturelles, par A. Winkelmann. — Chauffage au moyen des combustibles liquides, par le Dr Ignatz Lew.

Variétés. — Installation d'air comprimé à Offenbach. — Le canal de la mer du Nord.

N° 2. — 10 *janvier* 1891.

Nouveaux navires à grande vitesse de guerre et de commerce, par C. Busley *(suite)*.

Le pont du Forth, par G. Barkhausen *(suite)*.

Prix de revient de la force motrice avec les petits moteurs. par C. Korte.

Groupe de Breslau. — Chaudière inexplosible, de Stanislas Lentner et Cie.

Assemblée générale de l'association des maîtres de forges allemands à Dusseldorf, le 2 décembre 1890.

Variétés. — Chemin de fer sibérien.

N° 3. — 17 *janvier* 1891.

Nouveaux navires à grande vitesse de guerre et de commerce, par C. Busley *(suite)*.

Pont du Forth, par G. Barkhausen *(fin)*.

Calcul du diamètre des cylindres des machines d'extraction, par H. Zander.

Métiers circulaires, par C. A. Hirth.

Groupe de Chemnitz. — Appareils d'arrêt pour machines à vapeur. — Une hypothèse sur le refroidissement de la terre.

Variétés. — Mines et usines métallurgiques, en Suède, en 1890. — Développement de la marine austro-hongroise en 1889 et 1890.

Correspondance. — Accident aux machines du *City of Paris*.

N° 4. — 24 *janvier* 1891.

Ponts a encorbellement et à articulation en Allemagne, par Klett.

Nouveaux navires à grande vitesse de guerre et de commerce, par C. Busley *(fin)*.

Machines de l'industrie textile à l'Exposition de 1889 à Paris, par G. Rohn *(suite)*.

Fabrication des bandages aux États-Unis, par R. M. Daelen.

Bibliographie. — Application de la statique graphique, par W. Ritter.

Variétés. — Vapeurs à roues du Bosphore. — Canal de Dortmund à l'Ems. — Métropolitain électrique de Buda-Pest.

N° 5. — 31 *janvier* 1891.

Distribution de force motrice par l'air comprimé à Paris.

Métallurgie. — Production de l'acier et du métal fondu dans l'Amérique du Nord, par R. M. Daelen.

Nouveautés dans les machines outils à travailler les métaux, par H. Fischer *(suite)*.

Détermination graphique de l'accélération du mouvement d'un piston.

Groupe de Hambourg. — Observations sur les cas de ruptures survenues dans les machines à vapeur.

Réunion générale de l'association des maitres de forges allemands à Dusseldorf, le 11 janvier 1891.

Bibliographie. — Poutres et colonnes en fer, par W. Behne.

Variétés. — Station centrale d'éclairage électrique à Deptford. — Technicum d'Hildburghausen.

Carrespondance. — Tôle ondulée et son emploi dans les constructions

Pour la Chronique et les Comptes rendus :
A. Mallet.

LISTE

DES

PUBLICATIONS PÉRIODIQUES

REÇUES PAR

LA SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS

AU

1er JANVIER 1891

LISTE

DES

PUBLICATIONS PÉRIODIQUES

REÇUES PAR

LA SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS

AU

1er JANVIER 1891

DÉSIGNATION DES PUBLICATIONS	QUOTIDIENNES	BI-HEBDOMADAIRES	HEBDOMADAIRES	BI-MENSUELLES	MENSUELLES	8 FOIS PAR AN	6 FOIS PAR AN	5 FOIS PAR AN	4 FOIS PAR AN	2 FOIS PAR AN	ANNUELLES	
Association lyonnaise des propriétaires d'appareils à vapeur (Statuts). .	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1	
Association parisienne des propriétaires d'appareils à vapeur	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1	
Association pour prévenir les accidents de fabrique fondée sous les auspices de la Société industrielle de Mulhouse (Compte rendu).	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1	
Astronomie (l')	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»	
Avenir des chemins de fer (l').	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»	
Bibliothèque polytechnique internationale (Index méthodique des publications techniques)	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1	
Blé (le)	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»	
Bourse Lyonnaise (la).	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»	
Brésil (le).	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»	
Bulletin consulaire français.	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»	
Bulletin de l'imprimerie et de la librairie	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	
Bulletin de l'Institut Égyptien.	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1	
Bulletin des sommaires	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»	
Bulletin des Téléphones	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»	
Bulletin du Ministère des Travaux publics	»	»	»	»	»	»	1	»	»	»	»	
Bulletin historique et scientifique de l'Auvergne	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»	
Bulletin international de l'Électricité	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»	
Bulletin international des poids et mesures (Travaux et Mémoires)	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1	

Chambre de commerce de Dunkerque	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1
Chambre de commerce de Paris	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1
Chambre syndicale des constructeurs de machines, instruments d'agriculture et d'horticulture de France	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»
Charbon (le)	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»
Chronique industrielle	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»
Comité de géographie de Reims	»	»	»	»	»	»	»	»	1	»	»
Comité des Forges de France	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»	»
Compagnie du chemin de fer du Nord. (Rapport présenté par le Conseil d'administration)	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1
Compagnie générale des Omnibus de Paris. (Rapport au Conseil d'administration)	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1
Compte rendu des opérations des Chemins de fer, Postes, Télégraphes et Marine de Belgique	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1
Compte rendu des opérations du chemin de fer du Grand Central belge.	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1
Congrès international des accidents du travail (Bulletin du comité permanent)	»	»	»	»	»	»	1	»	»	»	»
Constructeur (le)	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»
Construction moderne (la)	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»
Cosmos	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»
Documents statistiques relatifs aux chemins de fer français	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1
Droit industriel (le)	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»
École nationale des Ponts et Chaussées. (Collection de dessins distribués aux élèves. — Légende explicative des planches.)	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1
École spéciale d'architecture	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1
Économie sociale (l')	»	»	»	»	»	»	»	»	1	»	»
Économiste français (l')	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»

DÉSIGNATION DES PUBLICATIONS	QUOTIDIENNES	BI-HEBDOMADAIRES	HEBDOMADAIRES	BI-MENSUELLES	MENSUELLES	8 FOIS PAR AN	6 FOIS PAR AN	5 FOIS PAR AN	4 FOIS PAR AN	2 FOIS PAR AN	ANNUELLES
Électricien (l')	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»
Encyclopédie d'architecture	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»
Esprit pratique (L')	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»
Exportation française (l') (édition C)	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»
Fer (le)	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»
Génie civil (le)	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»
Industrie française (l')	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»
Ingénieur-Conseil (L')	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»
Journal d'Agriculture pratique	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»
Journal de la Compagnie générale transatlantique	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»
Journal de la Meuncrie	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»
Journal de l'Éclairage au Gaz	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»
Journal des Chambres de commerce (le)	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»
Journal des Chemins de fer	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»
Journal des Mines et des Chemins de fer	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»
Journal des Travaux Publics	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»	»
Journal des Usines à Gaz	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»
Journal des Transports	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»
Journal officiel	1	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
Métropolitain (le)	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»

Monde de la Science et de l'Industrie (le)	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»
Moniteur de la Céramique, de la Verrerie, etc.	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»
Moniteur de la Papeterie française (le)	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»
Moniteur des Fils et Tissus	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»
Moniteur des Intérêts matériels	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»	»
Nature (la)	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»
Papeterie (la)	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»
Portefeuille économique des Machines	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»
Ports maritimes de la France	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1
Revue d'Artillerie	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»
Revue de l'aéronautique	»	»	»	»	»	»	»	»	1	»	»
Revue de la Législation des Mines	»	»	»	»	»	»	1	»	»	»	»
Revue du Génie militaire	»	»	»	»	»	»	1	»	»	»	»
Revue du sauvetage en France et à l'étranger	»	»	»	»	»	»	1	»	»	»	»
Revue financière du Mexique (la)	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»
Revue générale d'Architecture	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»
Revue générale de mécanique appliquée	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»
Revue générale des Chemins de fer	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»
Revue horticole	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»
Revue maritime et coloniale	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»
Revue technique de l'Exposition universelle de 1889	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»
Revue universelle des Inventions nouvelles (Édition B)	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»
Revue universelle des Mines	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»
Semaine des Constructeurs (la)	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»
Semaine financière (la)	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»
Service hydrométrique du bassin de la Seine et du bassin de l'Adour (Observations sur les cours d'eau et la pluie)	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1

DÉSIGNATION DES PUBLICATIONS	QUOTIDIENNES	BI-HEBDOMADAIRES	HEBDOMADAIRES	BI-MENSUELLES	MENSUELLES	8 FOIS PAR AN	6 FOIS PAR AN	5 FOIS PAR AN	4 FOIS PAR AN	2 FOIS PAR AN	ANNUELLES	
Société académique de l'Aube	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1	
Société académique d'architecture de Lyon	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1	
Société académique franco-hispano-portugaise	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1	»	
Société belge d'électriciens (Bulletin)	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»	
Société d'Agriculture de l'Aube	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1	
Société d'économie politique (Bulletin)	»	»	»	»	»	»	»	»	1	»	»	
Société d'encouragement pour l'Industrie nationale (Bulletin)	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»	
Société d'encouragement pour l'Industrie nationale (Compte rendu)	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	
Société de Géographie commerciale de Bordeaux (Bulletin)	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	
Société de Géographie de l'Est	»	»	»	»	»	»	»	»	1	»	»	
Société de Géographie de Paris (Compte rendu)	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	
Société de Géographie de Paris (Bulletin)	»	»	»	»	»	»	»	»	1	»	»	
Société de Géographie de Marseille	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1	
Société de l'Industrie minérale (Compte rendu)	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»	
Société de l'Industrie minérale (Bulletin)	»	»	»	»	»	»	»	»	1	»	»	
Société de protection des Apprentis	»	»	»	»	»	»	»	»	1	»	»	
Société de secours des Amis des Sciences	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1	
Société de Statistique de Paris (Journal de la)	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»	
Société des Agriculteurs de France (Bulletin)	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	
Société des anciens élèves des écoles d'Arts et Métiers (Bulletin technolo-												

Société des Arts, classe d'industrie et de commerce (Genève)	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1
Société des études coloniales et maritimes	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»
Société des Sciences industrielles de Lyon	»	»	»	»	»	»	»	»	1	»	»
Société et Chambre syndicale des mécaniciens, chaudronniers, fondeurs de Paris (Bulletin)	»	»	»	»	»	»	1	»	»	»	»
Société française de Minéralogie	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»
Société française de Physique (Compte rendu)	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»
Société française de Physique (Bulletin)	»	»	»	»	»	»	»	»	1	»	»
Société industrielle de l'Est	»	»	»	»	»	»	»	»	1	»	»
Société industrielle de Mulhouse	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»
Société industrielle du Nord de la France (Bulletin)	»	»	»	»	»	»	»	»	1	»	»
Société industrielle du Nord de la France (Comptes rendus)	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»
Société industrielle de Rouen	»	»	»	»	»	»	1	»	»	»	»
Société industrielle de Reims	»	»	»	»	»	»	»	»	1	»	»
Société industrielle de Saint-Quentin et de l'Aisne	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1
Société internationale des Électriciens	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»
Société nationale d'Agriculture de France (Bulletin)	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»
Société nationale d'Agriculture de France (Mémoires, Séance publique annuelle)	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1
Société nationale des Sciences, de l'Agriculture et des Arts de Lille	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1
Société scientifique industrielle de Marseille	»	»	»	»	»	»	»	»	1	»	»
Société technique de l'Industrie du gaz	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1
Société vaudoise des Ingénieurs et des Architectes (Bulletin)	»	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»
Société vaudoise des Sciences naturelles	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1	»
Statistique de l'Industrie minérale	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1
Statistique de navigation intérieure	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1

DÉSIGNATION DES PUBLICATIONS	QUOTIDIENNES	BI-HEBDOMADAIRES	HEBDOMADAIRES	BI-MENSUELLES	MENSUELLES	8 FOIS PAR AN	6 FOIS PAR AN	5 FOIS PAR AN	4 FOIS PAR AN	2 FOIS PAR AN	ANNUELLES	
Statistique des Chemins de fer français	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1	
Sucrerie indigène (la)	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»	
Syndicat des Ingénieurs-conseils en matière de propriété industrielle (Bulletin)	»	»	»	»	»	»	»	»	1	»	»	
Tableau général des mouvements du cabotage	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1	
Tableau général du commerce de la France	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1	
Technologiste (le)	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»	
Union des Chambres syndicales lyonnaises (Compte rendu)	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1	
Union des Ingénieurs sortis des Écoles spéciales de Louvain	»	»	»	»	»	»	»	»	1	»	»	
Union géographique du Nord de la France	»	»	»	»	»	»	1	»	»	»	»	
Union scientifique (l')	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»	
EN ALLEMAND												
Akademie der Wissenschaften (Wien)	»	»	»	»	»	»	1	»	»	»	»	
Annalen für Gewerbe und Bauwesen (Berlin)	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	
Architekten- und Ingenieur Vereins zu Hannover	»	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	
Centralblatt der Bauverwaltung (Berlin)	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»	»	
Dingler's polytechniches Journal (Stuttgart)	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»	
Jahrbücher der K. K. central Anstalt für Meteorologie und Erdmagne-												

Jahrbücher der K. K. Landwirthschafts-Gesellschaft in Wien	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1
Niederösterreichischen Gewerbe Vereins (Wochenschrift) (Wien). . . .	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»
Oesterreichische Eisenbahn-Zeitung (Wien)	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»
Oesterreichische Statistik (Wien)	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1
Oesterreichischen Ingenieur-und Architekten-Vereins (Zeitschrift) (Wien)	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»
Organ für die Fortschritte des Eisenbahnwesens (Wiesbaden).	»	»	»	»	»	»	1	»	»	»	»
Oesterreichischen Ingenieur-und Architekten-Vereines(Wochenschrift)(Wien)	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»
Repertorium der technischen (Journal-Litteratur)	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1
Schweizerische Bauzeitung (Zürich)	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»
Vereines Deutscher Ingenieure (Zeitschrift) (Berlin)	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»
Zeitschrift für Bauwesen (Berlin)	»	»	»	»	»	»	»	1	»	»	»
EN ANGLAIS											
American Academie of Arts and Sciences (Proceedings) (Boston) . . .	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1
American Engineer (the) (Chicago).	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»
American Institute of mining engineers (Transactions) (New-York) . .	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»
American Society of civil engineers (Transactions)(New-York). . . .	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»
American Society of mechanical engineers (New-York)	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»
Association of engineering Societies (Journal of the) (New-York) . . .	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»
Board of Commissionners (Annual Report) (Boston)	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1
Boston water Board (Annual Report) (Boston).	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1
California Academy of sciences (San Francisco).	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1
Canadian Institute (Annual Report) (Toronto).	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1
Canadian Institute (Proceedings) (Toronto).	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1	»
Canadian Society of civil Engineers (the) (Transactions) (Montréal). .	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1	»
Chinese Lighthouses (List of the) (China)	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1

DÉSIGNATION DES PUBLICATIONS	QUOTIDIENNES	BI-HEBDOMADAIRES	HEBDOMADAIRES	BI-MENSUELLES	MENSUELLES	8 FOIS PAR AN	6 FOIS PAR AN	5 FOIS PAR AN	4 FOIS PAR AN	2 FOIS PAR AN	ANNUELLES	
City Engineer Boston (Annual Report)	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1	
Engineer (the) (London)	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»	
Engineering (London)	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»	
Engineering association of New South Wales (the) (Minutes of Proceedings) (Sydney)	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1	
Engineering News (New-York)	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»	
Engineers' club of Philadelphia (Proceedings) (Philadelphia)	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»	
Engineers' club of Philadelphia (Record) (Philadelphia)	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	
Franklin Institute (Journal of the) (Philadelphia)	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»	
Indian Engineering (Calcutta)	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»	
Indiana Society of civil engineers and surveyors (Proceedings) (Indianapolis)	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1	
Industrial Rewiew (Philadelphia)	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»	
Industries (London and Manchester)	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»	
Iron (London)	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»	
Iron and Coal trades Review (The) (London)	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»	
Iron and Steel Institute (The Journal of the) London)	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1	»	
Institute of Technology Hoboken United States of America (New-York)	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1	
Institution of civil Engineers (Minutes of Proceedings) (London)	»	»	»	»	»	»	»	»	1	»	»	
Institution of civil Engineers (Private Press) (London)	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»	

Institution of Electrical Engineers (Journal of the) (London)	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»
Institution of Engineers and shipbuilders in Scotland (Transactions) (Glasgow)	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»
Institution of mechanical Engineers (Proceedings) (London)	»	»	»	»	»	»	1	»	»	»	»
Massachussets Institute of Technology (Annual Catalogue) (Boston)	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1
Master-Car Builders Association (Annual Convention) (Chicago)	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1
Midland Institute (Transactions) (Barnsley)	»	»	»	»	»	»	»	1	»	»	»
Midland Institute of Mining civil and mechanical Engineers (Proceedings) (London)	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»
Mining world (the) (London)	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»
Navy department Bureau of navigation office of naval Intelligence (Washington)	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1
North of England Institute of mining and mechanical Engineers (Transactions) (Newcastle-Upon-Tyne)	»	»	»	»	»	»	»	»	1	»	»
Publics Works Department government of Bengale (Revenue Report) (Calcutta)	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1
Railroad and Engineering Journal	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»
Railroad Gazette (New-York)	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»
Railway Engineer	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»
Smithsonian Report (Washington)	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1
Society of Arts (journal of the) (London)	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»
Society of Engineers (Transactions) (London)	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1
United States Coast Geodetic Survey (Report) (Washington)	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1
United States Geological Survey (Annual report) (Washington)	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1
United States Naval Institute (Proceedings) (Annapolis)	»	»	»	»	»	»	»	»	1	»	»

DÉSIGNATION DES PUBLICATIONS	QUOTIDIENNES	BI-HEBDOMADAIRES	HEBDOMADAIRES	BI-MENSUELLES	MENSUELLES	8 FOIS PAR AN	6 FOIS PAR AN	5 FOIS PAR AN	4 FOIS PAR AN	2 FOIS PAR AN	ANNUELLES	
EN ESPAGNOL												
Anales del Ministerio de Fomento de la Republica Mexicana	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1	
Asociación nacional de Ingenieros industriales (Boletin de la) (Madrid)	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	
Comercio interior ȳ exterior (Mexico)	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»	
El Porvenir de la Industria (Barcelona)	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»	
Industria é Invenciones (Barcelona)	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»	
Observatorio Météorológico Magnético central de México (Boletin Mensual)	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»	
Revista de obras públicas (Madrid)	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»	
Revista Minera Metalúrgica y de Ingenieria (Madrid)	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»	
Revista Tecnológica Industrial (Barcelona)	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»	
Sociedad cientifica « Antonio Alzate » (Memorias) (México)	»	»	»	»	»	»	1	»	»	»	»	
Sociedad Colombiana de Ingenieros (Anales de Ingenieria et Organo de la) (Bogóta)	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»	
Sociedad Rural Argentina (Anales de la) (Buenos-Aires)	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	
Sociedad « Sanchez Oropesa » (Boletin de la) (Orizaba)	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»	
Union industrial Argentina (Buenos-Aires)	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»	
EN HOLLANDAIS												
Tijdschrift van het Koniskliik Institut van Ingenieurs (La Haye)	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»	

EN HONGROIS											
Heti Értesitöje a M. Mérnök-és Epitész Egylet (Budapest)	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	
Magyar Mérnök ès Épitész Egylet (Budapest).	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»	
EN ITALIEN											
Accademia dei Lincei (Atti della Reale) (Roma).	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»	
Accademia dei Lincei (Memorie) (Roma)	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1
Accademia de Scienze, Lettere e Arts in Modena (Memorie della Regia).	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1
Bollettino delle opere moderne straniere (Roma).	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
Collegio d'Ingegneri ed Architetti in Catania.	»	»	»	»	»	»	1	»	»	»	1
Collegio degli Architetti ed Ingegneri di Firenze (Atti del)	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1	»
Collegio degli Ingegneri e degli Architetti in Palermo (Atti del). . . .	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1	»
Collegio del Ingegneri ed architetti in Napoli (Bolletino)	»	»	»	»	»	»	1	»	»	»	»
Giornale del Genio civil (Roma).	»	»	»	»	»	»	1	»	»	»	»
Industria (l') (Milano).	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»
Ingegneria civile et le arti Industriali (l') (Torino)	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»
Politecnico (Il) (Milano).	»	»	»	»	»	»	1	»	»	»	»
Rivista di Artiglieria e Genio (Roma)	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»
Società d'applicazione pergl'ingegneri in Roma (Annuaire et Programm d'Insegnamento)	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1
Società degli Ingegneri e degli Architetti in Torino (Atti della)	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1
Società degli Ingegneri e degli Architetti Italiani (Annali della) (Roma).	»	»	»	»	»	»	»	»	1	»	»
EN POLONAIS											
Przeglad techniczny (Warszawa)	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»

DÉSIGNATION DES PUBLICATIONS	QUOTIDIENNES	BI-HEBDOMADAIRES	HEBDOMADAIRES	BI-MENSUELLES	MENSUELLES	8 FOIS PAR AN	6 FOIS PAR AN	5 FOIS PAR AN	4 FOIS PAR AN	2 FOIS PAR AN	ANNUELLES	
EN ESPAGNOL												
Anales del Ministerio de Fomento de la Republica Mexicana	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1	
Asociación nacional de Ingenieros industriales (Boletin de la) (Madrid)	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	
Comercio interior y exterior (Mexico)	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»	
El Porvenir de la Industria (Barcelona)	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»	
Industria é Invenciones (Barcelona)	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»	
Observatorio Météorológico Magnético central de México (Boletin Mensual)	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»	
Revista de obras públicas (Madrid)	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»	
Revista Minera Metalúrgica y de Ingenieria (Madrid)	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»	
Revista Tecnológica Industrial (Barcelona)	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»	
Sociedad científica « Antonio Alzate » (Memorias) (México)	»	»	»	»	»	»	1	»	»	»	»	
Sociedad Colombiana de Ingenieros (Anales de Ingenieria et Organo de la) (Bogóta)	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»	
Sociedad Rural Argentina (Anales de la) (Buenos-Aires)	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	
Sociedad « Sanchez Oropesa » (Boletin de la) (Orizaba)	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»	
Union industrial Argentina (Buenos-Aires)	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»	
EN HOLLANDAIS												
Tidjschrift van het Konisklijk Institut van Ingenieurs (La Haye)	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»	

Fig.11b

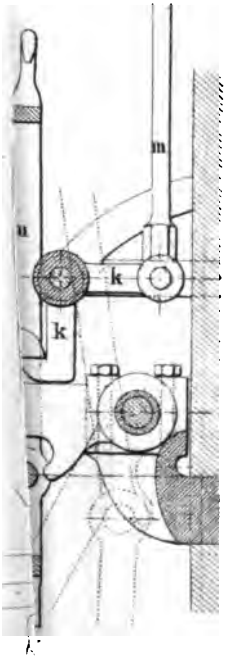


Fig.11c

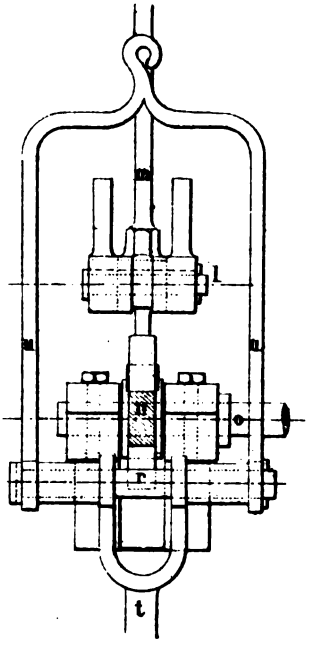


Fig.11e

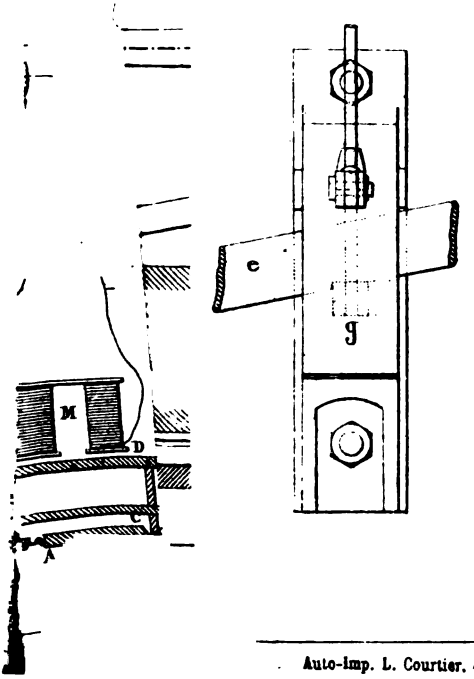
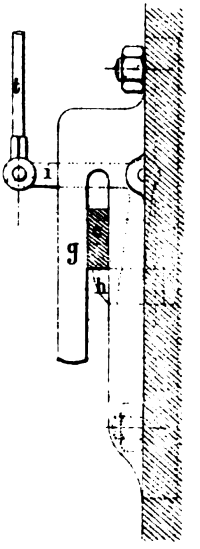


Fig.11f



Auto-imp. L. Courtier, 43, rue de Dunkerque, Paris.

DÉSIGNATION DES PUBLICATIONS	QUOTIDIENNES	BI-HEBDOMADAIRES	HEBDOMADAIRES	BI-MENSUELLES	MENSUELLES	8 FOIS PAR AN	6 FOIS PAR AN	5 FOIS PAR AN	4 FOIS PAR AN	2 FOIS PAR AN	ANNUELLES	
EN PORTUGAIS												
Annuario publicado pelo Imperial observatorio do Rio de Janeiro	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1	
Diario Official	1	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	
Revista de Obras Publicas é Minas (Lisboa)	»	»	»	»	»	»	1	»	»	»	»	
Revista do observatorio do Rio de Janeiro	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»	
Revista mensal Engenharia e Industria (Rio de Janeiro)	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»	
EN RUSSE												
Ingénieur (Kieff)	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»	
Zapiski Imperatorskagho Rousskagho Technitcheskagho Obchtchestva (Saint-Pétersbourg)	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»	
EN SUÉDOIS												
Teknisk Tidsskrift (Norks) (Kristiania)	»	»	»	»	»	»	1	»	»	-		
Technisk-Tidskrift (Ny Följd (Stockolm)												

Fig.11b

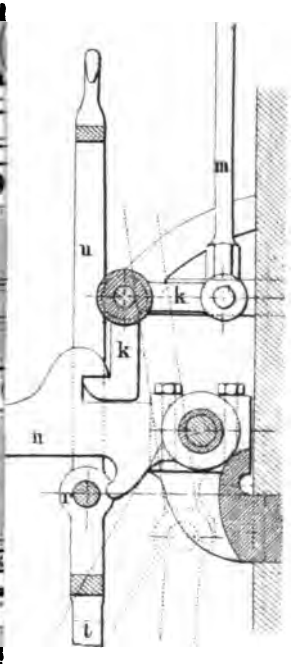
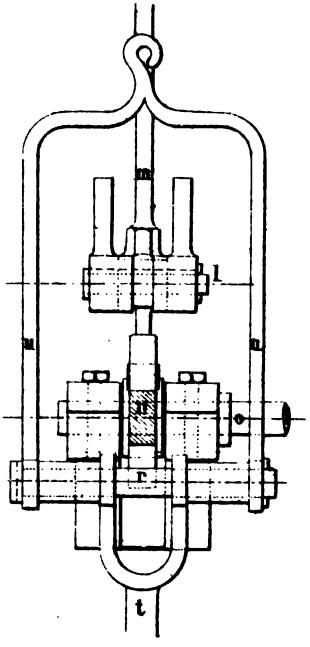


Fig.11c



Fi

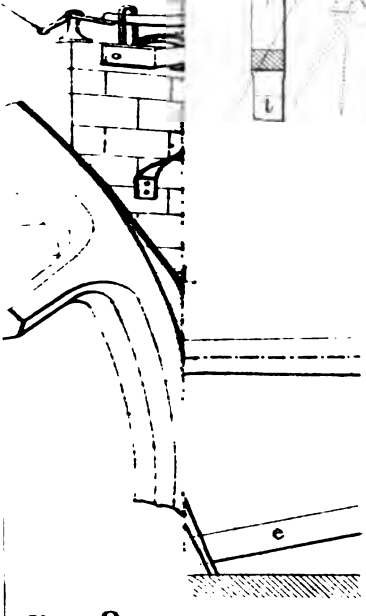


Fig.11e

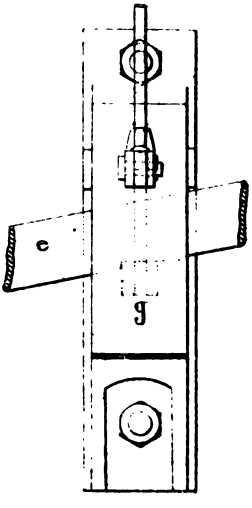


Fig.11f

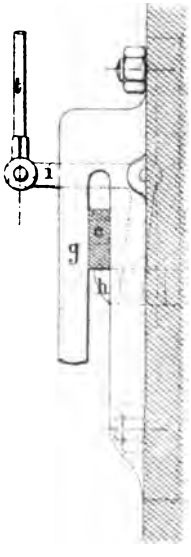
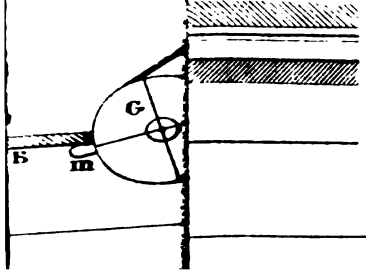


Fig. 9.

g.11g



Auto-Imp. L. Courtier, 43, rue de Dunkerque, Paris

MACHINE

.16.

Fig. 19.

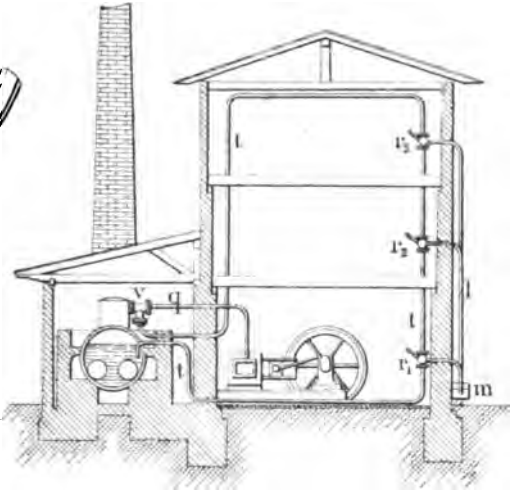


Fig. 19c

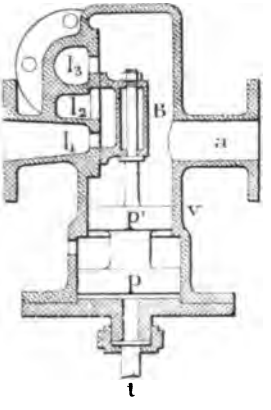


Fig. 19d

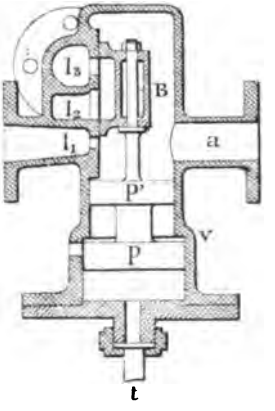


Fig. 19e

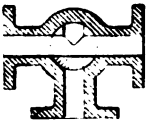


Fig. 19f

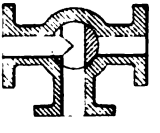
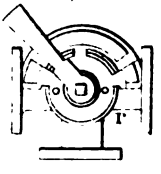


Fig. 19g



Auto-Imp. L. Courtier, 43, rue de Dunkerque, Paris.

MÉMOIRES

ET

COMPTE RENDU DES TRAVAUX

DE LA

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS

FÉVRIER 1891

N° 2

Sommaire des séances du mois de février 1891 :

1° *Décès* de MM. J.-B. Albaret, J. Armengaud, le baron F. von Schmidt, E. Reynier, E.-J.-J. Furno (séances des 6 et 20 février), pages 91 et 101;

2° *Décorations et nominations* (séances des 6 et 20 février), pages 93 et 102;

3° *Don de bon provenant de l'emprunt de 75 000 francs* (séance du 6 février), page 93;

4° *Concours pour un projet de gare à Varsovie* (séance du 6 février), page 93;

5° *Adjudication de travaux à exécuter à Madrid et à Barcelone* (séance du 6 février), page 93;

6° *Machine de torpilleur*. Lettre de M. A. Normand et observations de M. D.-A. Casalonga (séance du 6 février), page 93;

7° *Prix Nozo (Désignation des jurés du)* (séance du 6 février), page 94;

8° *Congrès de navigation maritime et fluviale de Manchester*, par M. J. Fleury (séance du 6 février), page 94;

9° *Machines à vapeur et d'obtenir l'arrêt rapide des transmissions (Moyens de prévenir l'emballement des)*, par M. Thareau (séance du 6 février), page 96;

10° *Unification des méthodes d'essai des matériaux de construction*. Compte rendu des conférences de Munich, de Dresde et de Berlin, par M. Can-

dlot et observations de M. Polonceau, président de la Société (séance du 6 février), page 96 ;

11° *Outillage des voies de communication, canaux, rivières, ports de mer, chemins de fer*, par M. J. de Coëne (séance du 6 février), page 100 ;

12° *Lettre* de M. Armengaud aîné fils (séance du 20 février), page 102 ;

13° *Lettre* de M. Poillon (séance du 20 février), page 102 ;

14° *Exposition internationale d'électricité à Francfort-sur-le-Mein le 15 mai 1891* (séance du 20 février), page 103 ;

15° *Voiture à vapeur, système Rowan (Visite à la)*. Lettre de M. Jouffret (séance du 20 février), page 103 ;

16° *Construction de maisons à bon marché* (séance du 20 février), page 103 ;

17° *Irrigations (Les)*, par M. A. Tresca (séance du 20 février), page 103 ;

18° *Chemin de fer électrique (Nouveau système de)*, par M. J. Heilmann (séance du 20 février), page 105 ;

19° *Habitations ouvrières d l'Exposition de 1889*, par M. Cacheux (séance du 20 février), page 106.

Pendant le mois de février, la Société a reçu :

31980 — De M. G. Eiffel (M. de la S.). *Congrès international des procédés de construction*, Comptes rendus des séances et visites du Congrès. In-8 de 405 p. Paris. Baudry et C^ie^ 1891.

31981 à 31984 — De U. S. Coast and Géodétic Survey. *Report of the superintendant of the U. S. Coast and géodetic Survey. Years 1882, 1883, 1885 et 1887*. In-4, Washington Government Printing office, 1883 à 1889.

31985 — De M. Du Bousquet (M. de la S.). *A la mémoire de Ferdinand Mathias*. Notice biographique. Petit in-4 de 62 p. Lille, L. Danel, 1890.

31986 De M. P. Mahler (M. de la S.). *Coup d'œil sur la métallurgie du fer en France en 1789*. In-8 de 14 p. Paris, J. Mersch, 1891.

31987 — De M. E. Cornell. *The Cornell University Register 1890-1891*. Ithaca, Andrus et Church, 1891.

31988 — De M. J.-C. Trautwine. *Recent experiments on the flow of water over weis*. In-8 de 52 p. avec pl. 1888.

31989 — De M. G. Moch. *Procédé Mannesmann pour la fabrication des tubes métalliques*. In-8 de 16 p. Paris, Berger-Levrault et C^ie^, 1891.

31990 — De la Comision de publicaciones. *Congreso internacional de Ingenieria celebrado en Barcelona durante 1888*. Discursos, Mémorias y disertaciones. Grand in-8 de 424 p. Barcelona, L. Tasso, 1890.

31991 — De M. F. Michotte. *Traité scientifique et industriel de la Ramie*. In-8 de 360 p. avec Appendice. Paris, J. Michelet, 1890.

31992 — De M. E. Bernard, *Notes et formules de l'Ingénieur et du Constructeur mécanicien*, de M. C. de Laharpe. In-12 de 726 p. Paris, E. Bernard, 1891.

31993 et 31994 — De M. le Ministre des Travaux publics. *Ports maritimes de la France*. Tome VIII, 1re partie. Corse, Algérie et de Nemours à Tipaza. Grand in-8 de 458 p. avec atlas 1/2 grand aigle. Paris, Imprimerie Nationale, 1889-1890.

31995 — De M. A. Zdziarski (M. de la S.). *Description de la machine américaine d'Austin « New Era » pour les travaux de terrassement*. Petit in-8 de 7 p., avec pl. Saint-Pétersbourg, 1890 (en russe).

31996 — Du même. *Observations sur le chemin de fer « Canadian Pacific Railway »*. Grand in-8 de 31 p. avec pl. Saint-Pétersbourg, 1890 (en russe).

31997 — *Tables météorologiques internationales*, par le Comité météorologique international. Petit in-folio de 334 p. Paris, Gauthier-Villars, 1890.

31998 — *Lois usuelles classées par ordre alphabétique*, par Roger et Sorel. Grand in-8 de 983 p. Paris. Garnier frères, 1890.

31999 — *Les Codes*, par Roger et Sorel. Grand in-8 de 528 p. Paris, Garnier frères, 1890.

32000 — De M. A. Carnot. *Sur la recherche et le dosage de très petites quantités d'aluminium dans les fontes et dans les aciers*. Fe petit in-4. Paris, Gauthier-Villars, 1890.

32001 — De la Société industrielle de Mulhouse. *Le Nouveau Projet de loi sur les brevets d'invention et sur les modèles de fabrication en Allemagne*, par C. Pierron. Grand in-8 de 31 p. Mulhouse, Ve Bader, 1891.

32002 — De M. E. Firminhac (M. de la S.). *Fabrication des tubes sans soudure procédé Mannesmann*, par F. Reulaux. In-12 de 30 p. Paris, Gauthier-Villars, 1891.

32003 — De M. P. Radiot. *Le Transsaharien transatlantique*. In-8 de 8 p. Paris, E. Leroux, 1891.

32004 — De M. D. Casalonga (M. de la S.). *Unification internationale des séries de pas de vis et de divers autres organes élémentaires de construction*. Petit in-8 de 23 p. Charleville, A. Fouillard, 1879.

32005 — De la Chambre de commerce de Rouen. *Note sur la basse Seine*, par Dormoy. In-8 de 20 p. Paris, Imprimerie Nationale, 1890.

32006 — De M. Candlot (M. de la S.). *Rapport de M. Le Chatelier sur un mémoire de M. Candlot ayant trait aux propriétés des ciments*. Petit in-4 de 35 p. Paris, G. Chamerot, 1890.

32007 — De M. J.-W. Powell. *Ninth annual Report of the United States géological Survey*, to the Secretary of the intérior 1887-1888. Grand in-8. Washington Government printing office 1889.

32008 — De M. E. Chabrand (M. de la S.). *Les gîtes miniers en Corse*. Grand in-12 de 38 p. Paris, E. Bernard et Cie, 1884.

32009 — Du même. *Le bassin houiller des Alpes et gîtes anthracifères du Briançonnais.* In-8 de 26 p. Paris, *Génie civil*, 1886.

32010 — Du Ministère du Commerce. *Bulletin consulaire français*, année 1891. Fascicule 1 de janvier. Grand in-8. Paris, Imprimerie Nationale.

32011 à 32016 — Du Bureau du Congrès. *Congrès international de Mécanique appliquée, tenu à Paris du 16 au 21 septembre 1889.* 4 vol. gr. in-8 et 2 atlas gr. in-4. Paris, E. Bernard et Cie, 1890.

32017 — De M. P. Boubée (M. de la S.). *Le deformazioni elastiche delle travi o sistemi di Travi a fibre medie piano storte nuova teoria ed applicazioni*, per Bertrand de Fontviolant, traduction italienne par P. Boubée. In-8 de 206 p. avec pl. Napoli, B. Pellerano, 1891.

32018 — *Repertorium der technischen Journal Litteratur 1888.* Gr. in-8 de 502 p. Berlin, C. Heymann, 1889.

32019 — De M. F. Martin. *Du régime des chemins de fer secondaires en France.* In-8 de 31 p. Paris, Baudry et Cie, 1891.

32020 — De M. C. Chômienne (M. de la S.). *Etude sur la combustion.* In-8 de 87 p. avec pl. Paris, Chaix et Cie, 1890.

32021 — De M. E. Chabrand (M. de la S.). *L'ère glaciaire dans les Alpes dauphinoises.* In-8 de 21 p. Grenoble, F. Allier, 1888.

32022 — De M. R. W. Hutton (M. de la S.). *The Washington Bridge Harlem River New-York City.* In-4 de 90 p. avec pl. New-York, L. V. Rosenberg, 1890.

32023 et 32024 — De l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées. *Cours de Travaux maritimes professé à l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées*, par Laroche. In-4 de 460 p. avec atlas, 1er fascicule 1889-90. Paris, Ecole des Ponts et Chaussées, 1890.

32025 à 32028 — De M. A. Moreau (M. de la S.). *Exposition française de Moscou 1891. Documents divers.* Petit in-4 autogr. 1891. Saint-Pétersbourg.

32029 — Du Ministère des Travaux publics. *Commission des chaux, ciments, mortiers. Documents lus à la séance du 17 juillet 1890.* 3e fascicule. Petit in-4 de 228 p. autogr., 1891.

32030 — De M. Frager. *Compteurs d'électricité*, par Frager, Gauderay-Frager. Petit in-4 de 15 p. F. Appel, Paris, 1891.

32031 — De M. Ch. Lucas (M. de la S.). *Rapport du Jury du concours pour l'étude d'habitations à bon marché à établir à Saint-Denis (Seine).* In-8 de 15 p. Paris, Chaix, 1890.

32032 — Du même. *Concours pour l'amélioration des logements à bon marché dans une localité déterminée de la France*, ouvert par la Société française des habitations à bon marché. In-8 de 16 p. Paris, Chaix, 1890.

32033 — Du Ministère du Commerce, de l'Industrie et des Colonies. *Annuaire statistique de la France*, année 1890. Grand in-8. Paris, Imprimerie Nationale, 1890.

32034 à 32036 — De M. A. Ronna (M. de la S.). *Les irrigations*, par A. Ronna. Vol. I, II et III. Paris, Firmin-Didot, 1890.

32037 — De la Société anonyme des anciens établissements Cail. *Locomotive à deux trains articulés. système Mallet.* Photographie 1/2 grand'aigle. Paris, Berthaud, 1861.

32038 et 32039 — De M. E. Cacheux (M. de la S.). *Les habitations ouvrières en tous pays*, par E. Muller et E. Cacheux. Grand in-8 de 668 p. et atlas in-folio de 78 pl. Paris, Baudry et Cie, 1891, 2e édit.

32040 — Du même. *Etat des habitations ouvrières à la fin du XIXe siècle.* Grand in-8 de 176 p. avec pl. Paris, Baudry et Cie, 1891.

32041 — De M. Rowan. *De la traction économique pour tramways.* Petit in-4 de 48 p. avec pl. Paris, Baudry et Cie, 1891.

MÉMOIRES ET MANUSCRITS

2094 — De M. Chaudy (M. de la S.). *Contribution à l'étude de la stabilité des voûtes et des coupoles en maçonnerie.*

2095 — De M. Aug. Normand (M. de la S.). *Note sur les machines de torpilleurs.*

2096 — De M. Duroy de Bruignac (M. de la S.). *Remarque sur le zéro absolu de température et le coefficient de dilatation.*

2097 — De M. Chabrand (M. de la S.). *Essai historique sur les origines de l'exploitation des mines métalliques et de la métallurgie dans les Alpes du Dauphiné.*

2098 — De M. G. Leloutre (M. de la S.). *Recherches expérimentales et analytiques sur les machines à vapeur. Théorie générale de la machine à vapeur et théorie de l'enveloppe.*

2099 — De M. H. Guyon (M. de la S.). *Le Gaz dynamogène et ses applications.*

2100 — De M. Aug. Normand (M. de la S.). *Rectification à son mémoire sur les machines de torpilleurs.*

2101 — De M. Candlot (M. de la S.). *Travaux des conférences de Dresde, Munich et Berlin, sur l'unification des méthodes d'essai des matériaux, notamment en ce qui concerne les chaux et ciments.*

Les membres nouvellement admis pendant le mois de février sont :

Comme membres sociétaires : MM.

A.-Ch. Barle, présenté par MM. Mallet, Carimantrand et Lévi.

J. Berthier, Dujardin-Beaumetz, Soulerin et Lesourd.

A. Boivin,	présenté par MM.	Contamin, Appert et E. Boivin.
V. Bratiano,	—	Lantrac, Bertrand de Fontviolant et H. Vallot.
J.-L. Burguion,	—	Joyant, Guillaume et Chalain.
J.-M.-A. Chambrelent,	—	Arson, Gigot et Euchène.
J.-A. Delacourtie,	—	Contamin, Chaligny et Forest.
E.-E. Divary,	—	Delage, Legenisel et Roger.
Ch. Dufour,	—	Duthu, Holtzer et Rubin.
A.-L.-E. Durieux,	—	Mallet, Caplen et Carimantrand.
L. Fayot,	—	Raffard, Hospitallier et Mallet.
E.-J.-M. Fouché,	—	Robin, Cerbelaud et Taconnet.
L. Galezowski,	—	Pontzen, de Serres et Kowalski.
L. Genis,	—	Herscher, Coiseau et J. Fleury.
W. Langdon,	—	Chapman, Oughterson et Vaslin.
V.-A. Lespinas,	—	Chaillaux, Miston et Delpeuch.
N.-A. Menassier,	—	Fontaine, Chaperon et Dujour.
A.-T. Minder,	—	Carimantrand, Lévi et Mallet.
P.-F.-J. Morel,	—	Forest, A. Blétry et C. Blétry.
Ch.-A.-M. de Perrodil,	—	Arson, Jordan et Bertrand de Fontviolant.
S.-P.-M. Souhart,	—	Polonceau, Dujardin-Beaumetz et Boudenoot.
P.-L.-A. Tissot,	—	Demolon, Aygalenq et A. Olivier.
A. Tricoche,	—	Fontaine, Chrétien et E. Martin.
J. Vautard,	—	Courtier, Pontzen et Salles.
J. Vidal,	—	Carimantrand, Lévy et Mallet.

Comme membres associés : MM.

E.-A.-D. Bouchacourt,	présenté par MM.	Hallopeau, Brossard et Freulon.
E.-J.-B. Capiomont,	—	Lambert, Flicoteaux et Girard.
G. Delettrez,	—	Contamin, E. Delettrez et Forest.
R.-A.-J. Piat,	—	Moreau, Bodin et Gouilly.
J.-J.-A. Piat,	—	Moreau, Bodin et Gouilly.

RÉSUMÉ

DES

PROCÈS-VERBAUX DES SÉANCES

DU MOIS DE FÉVRIER 1891

Séance du 6 Février 1891.

PRÉSIDENCE DE M. E. POLONCEAU

La séance est ouverte à huit heures et demie.

Le procès-verbal de la dernière séance est adopté.

M. LE PRÉSIDENT a le profond regret d'annoncer la mort de notre collègue, M. ALBARET (Auguste-Bernard), né à Dax (Landes), en 1823. Sorti le troisième de l'École des arts et métiers d'Angers en 1843, il entra d'abord dans la marine comme aide-mécanicien, de là dans divers ateliers, à la Compagnie du Nord, à la Compagnie de Lyon, puis chez Cavé où il dirigea la construction de machines locomotives pour la Compagnie d'Orléans ; il passa ensuite à la Compagnie de Madrid-Saragosse-Alicante, dont il installa en dernier lieu les ateliers, et, en 1859, il fut nommé Ingénieur en chef du matériel et de la traction des chemins de fer portugais.

Enfin, en 1861, Albaret succéda à Duvoir dans la direction de l'usine de Rantigny; il eut une action très grande dans la construction rationnelle du matériel agricole.

Il faisait partie de la Société des Ingénieurs civils depuis 1857, et vers la même époque était nommé membre de la Société anglaise des Ingénieurs-mécaniciens, établissant ainsi les relations qui existent depuis cette époque entre les deux Sociétés.

Chevalier de la Légion d'honneur de 1867, Albaret fut nommé officier en 1878; chevalier du Mérite agricole en 1884, puis officier.

Plusieurs Sociétés savantes lui ont décerné des prix pour ses travaux mécaniques; les expositions lui décernèrent de nombreuses médailles; enfin, en 1889, il obtint une médaille d'or de la section de l'économie sociale, en récompense des mesures prises dans son établissement en faveur de ses ouvriers ; cette médaille est venue couronner dignement une vie toute d'honneur et de travail. Il avait su unir ses intérêts à ceux

de ses ouvriers ; les regrets exprimés par eux sur sa tombe, l'affluence de ses amis de toutes les classes aux obsèques, leur profonde douleur, prouvent l'estime et l'affection dont il était entouré.

M. le Président tient à exprimer à sa famille, au nom de la Société, toute la part que nous prenons à son affliction.

M. LE PRÉSIDENT annonce que la Société des Ingénieurs civils vient de perdre un de ses membres les plus distingués : M. Jacques Armengaud est décédé à Saint-Cloud le 23 janvier. M. Casalonga, notre collègue, a bien voulu préparer une notice sur la vie d'Armengaud. M. le Président fait un résumé de cette notice, qui sera publiée *in extenso* dans le *Bulletin*.

Sorti en 1829 de l'École des arts et métiers de Châlons, Jacques Armengaud fut d'abord un des dessinateurs les plus habiles de Leblanc, professeur au Conservatoire, auquel il succéda en 1836. Il fonda avec son frère un cabinet d'Ingénieurs; ils publièrent ensemble une série d'ouvrages techniques, au nombre desquels il faut citer leur *Publication des Machines-Outils et appareils*, qui, à cette époque, n'avait d'égale dans aucun autre pays. Il reçut successivement de diverses Sociétés et Expositions des récompenses très nombreuses, bien justifiées par les services qu'il a rendus à l'art de l'Ingénieur et à son pays.

La vie d'Armengaud a été une vie constante de travail, aussi longue que bien remplie.

L'estime et l'affection étaient générales autour de lui. M. le Président est certain que la Société tout entière s'associe à la douleur de la famille et joint ses sympathiques regrets à tous ceux qui lui ont été exprimés de tous côtés et de toutes les manières.

M. LE PRÉSIDENT a encore la douleur d'annoncer que M. le baron Frederick von Schmidt, qui était président de la Société des Ingénieurs et Architectes de Vienne et avait été nommé en 1876 membre honoraire de notre Société, est décédé le 23 janvier. Il doit à l'obligeance de notre ancien président, M. A. Gottschalk, les renseignements suivants :

Le Dombaumeister, comme on l'appelait avant qu'il fût baron, était un des architectes les plus distingués des temps modernes, un de ceux qui ont le plus étudié le style gothique en Allemagne et en Italie. Après la cession de la Lombardie à l'Italie, en 1859, il vint se fixer à Vienne.

En dehors de la flèche de 144 *m* de la cathédrale de Vienne qu'il fut appelé à terminer, il ne construisit pas moins de trois églises à Vienne et dans les environs, et celle de Funfhaus passe pour son chef-d'œuvre en fait de construction de ce genre.

Mais ce qui l'a rendu surtout célèbre, c'est la construction récente (1872-1883) de l'hôtel de ville de Vienne en style Renaissance, œuvre magistrale et tout à fait remarquable.

La grande sympathie qu'on éprouvait pour lui, l'affection dont on l'entourait, tenaient à son grand bon sens, à beaucoup d'aménité et à une très grande simplicité; il était très flatté d'être apprécié à l'étranger et sa nomination de membre honoraire de notre Société lui avait fait grand plaisir ; il se montrait tel aux Ingénieurs français qui s'adressaient à lui et à qui il faisait toujours bon accueil.

Le jour de son enterrement, le cortège passa devant les principaux monuments qu'il avait construits, de façon à permettre au clergé, aux magistrats, aux Ingénieurs et Architectes de saluer ses dépouilles mortelles.

M. le Président propose d'adresser au Président de la Société des Ingénieurs et Architectes de Vienne une lettre lui disant toute la part que la Société prend à cette perte pour l'art et pour leur pays et le priant de transmettre à sa famille tous ses compliments de condoléance. *(Vive approbation.)*

M. LE PRÉSIDENT doit enfin annoncer la mort prématurée, à l'âge de trente-neuf ans, de M. Émile Reynier. Sorti de l'école primaire à quatorze ans, Reynier entra en apprentissage chez un ferblantier et ce n'est que deux ans après qu'il put reprendre le cours de ses études. Électricien distingué, son nom restera attaché à la création des accumulateurs électriques et au perfectionnement des piles. M. le Président tient à exprimer à sa famille toute la part que la Société prend à cette perte si inattendue.

M. LE PRÉSIDENT est heureux d'annoncer la décoration de M. Deligny (Ernest), comme chevalier de la Légion d'honneur, et celle de M. Victor Rose, comme chevalier du Mérite agricole.

M. LE PRÉSIDENT remercie M. Albert Blazy qui a fait abandon d'un bon qu'il avait souscrit pour la réception des Ingénieurs étrangers pendant l'Exposition.

M. LE PRÉSIDENT annonce que M. de Kislanski, membre correspondant de la Société à Varsovie, vient d'aviser par lettre qu'un concours va être ouvert par la Société des chemins de fer Varsovie-Vienne dans le but de préparer un projet de gare à Varsovie. Il a bien voulu, avec une obligeance dont on ne saurait trop le remercier, envoyer les plans et notices relatifs à ce concours, et se mettre à la disposition de ses collègues pour leur donner toutes les explications complémentaires. M. le Président adresse ses remerciements à M. de Kilanski et prévient que ces documents seront déposés au Secrétariat, à la disposition de tous ceux que la question intéresserait.

M. DE GISPERT, notre collègue et correspondant à Barcelone, nous avise que le 27 mai prochain aura lieu, à Madrid et à Barcelone, l'adjudication des travaux de cette dernière ville, évalués à 13 523 483 piécettes. Les documents, plans et cahier des charges peuvent être consultés à Madrid et à Barcelone. Nos collègues trouveront à ce sujet les indications au Secrétariat.

M. LE PRÉSIDENT signale une lettre de M. Aug. Normand, qui désire apporter une rectification à sa dernière communication.

Dans la séance du 5 décembre, il avait attribué à M. Weir l'idée première du mode de réchauffage de l'eau d'alimentation qu'il a appliqué à ses machines de torpilleurs.

M. Normand dit qu'un brevet de son frère, en date du 26 juin 1856, expose très clairement cette invention et, par suite, que l'idée première doit être attribuée à M. Benjamin Normand.

M. Normand fait observer aussi que, dans la discussion qui a suivi la

lecture de sa note, il aurait dit que : « quoi que l'on fasse, les eaux employées dans les torpilleurs sont toujours grasses. » Ces paroles qui paraissent en contradiction avec les termes de la note, rendent mal sa pensée. Il a voulu dire que : quelque réserve que l'on apporte dans le graissage intérieur, l'eau devient grasse très rapidement ; il est impossible, par exemple, d'éviter l'introduction de l'huile de la tige de piston du grand cylindre sous l'action du vide. Mais l'efficacité des filtres à éponges est bien établie et cette cause du mauvais fonctionnement des chaudières parait écartée actuellement.

Enfin M. Normand ajoute que le torpilleur 129 identique au 128 vient d'être livré et que des essais de puissance ont été effectués dans des conditions de chargement identiques à celles de l'essai à grande vitesse, ce qui n'avait pas eu lieu pour les bâtiments précédents. La consommation par cheval indiqué, qu'il avait estimée à 0,870 *kg*, a été trouvée égale, à grande vitesse, à 0,800 *kg*.

M. D.-A. Casalonga demande à présenter une observation au sujet de la lettre qui vient d'être lue.

On se souvient que, dans la communication qu'il nous fit le 5 décembre dernier, M. A. Normand avait relaté des essais de puissance à petite vitesse, desquels résultait, sur le torpilleur 128, une consommation de 0,445 *kg* de combustible par cheval heure indiqué.

C'est cette si faible consommation, obtenue dans des conditions de marche si désavantageuses pour le moteur, qui lui avaient fait éprouver les doutes qu'il a exprimés.

En se bornant à relater que les nouveaux essais faits sur le torpilleur 129, dans des conditions de chargement identiques à celles de la grande vitesse, ont accusé une consommation de 0,800 *kg*, M. Normand semble reconnaitre lui-même que la consommation de 0,445 *kg* précédemment indiquée n'a pu être réalisée.

M. le Président rappelle que l'Assemblée doit nommer six jurés, trois titulaires et trois supplémentaires, pour faire partie de la commission chargée de décerner le prix Nozo. Ce prix doit être décerné dans la séance annuelle de juin prochain. Il fait connaitre que le comité met en avant, comme très compétents dans cette question : MM. Rubin, Simon, Hauet, Regnard, Bodin et Morandiere. Mais il insiste sur ce que chacun est absolument libre de mettre d'autres noms, de changer l'ordre dans lequel ces noms sont proposés et de les placer à son gré comme jurés titulaires ou comme jurés supplémentaires.

Le vote ayant eu lieu, M. le Président annonce que MM. Rubin, Simon, Hauet sont nommés jurés titulaires pour le prix Nozo, et MM. Morandière, Regnard et Bodin sont nommés jurés supplémentaires.

M. le Président donne la parole à M. Fleury pour sa communication complémentaire sur le *Congrès de navigation maritime et fluviale de Manchester*.

M. Fleury n'a pas pu dans sa précédente communication tirer parti de tous les documents qui lui sont parvenus d'Angleterre et de Russie ; il tient à remercier les ingénieurs de ces deux pays qui ont bien voulu lui fournir des éléments si importants.

Il attire tout d'abord l'attention de la réunion sur un projet de canal destiné à relier Birmingham à la mer. Ce projet est la conséquence des tarifs excessifs maintenus par les Compagnies de chemins de fer. Les lignes parallèles — jadis concurrentes — qui relient Birmingham à la mer ont réglé d'un commun accord leurs tarifs; il y a un monopole de fait; ce que prévoyait Stephenson est arrivé. Aussi les mêmes causes ont produit les mêmes effets : l'exagération des tarifs a décidé les industriels de Manchester à creuser à grands frais un canal qui permettra aux marchandises d'arriver à bas prix dans les manufactures elles-mêmes. Ils ont trouvé encore économie à prendre des actions du canal qui ne leur rapporteront peut-être jamais rien, plutôt que de continuer à payer des tarifs exagérés sur les voies ferrées

Le même raisonnement a guidé les industriels de Birmingham. Ils possédaient déjà un petit canal n'ayant que trois ou quatre pieds de tirant d'eau et ayant par contre jusqu'à cinquante-huit petites écluses. Ils ont décidé le creusement d'un canal ayant six à sept pieds de tirant d'eau; et aux nombreuses écluses échelonnées, ils ont décidé de substituer deux plans inclinés qui rachèteront chacun cent vingt pieds d'altitude avec une pente de un dixième et sur lesquels circuleront des sas porteurs.

Ces plans inclinés ne diffèrent pas beaucoup de ceux qui ont été décrits par M. Flamant, dans *le Génie Civil*. Les sas seront mus par des machines à vapeur. On n'a pas songé à employer des moteurs hydrauliques, parce que, en ce point, on n'a pas plus d'eau qu'il n'en faut. Le canal aura une longueur totale de 77 milles. Il y a 30 milles dans la première section, de Birmingham à Worcester; 30 milles de Worcester à Gloucester; et, pour arriver à la mer, il y a à peu près 17 milles.

M. Fleury se fait un devoir et un plaisir de remercier publiquement M. Keeling, l'Ingénieur qui a conçu et qui fait exécuter ces beaux travaux. Il assure tous les membres de la Société qu'ils trouveront auprès de lui l'accueil le plus empressé.

M. Fleury signale rapidement le projet, beaucoup plus hardi, qui aurait pour but d'amener à Birmingham des bateaux de 4 à 500 *t*. Mais ce projet n'est encore qu'à l'état d'études et les capitaux destinés à son exécution ne sont pas encore réunis.

M. Fleury attire, en finissant, l'attention des membres présents à la séance, sur une collection de cartes à grande échelle relatives à la correction du cours du Volga qui lui ont été communiquées par les Ingénieurs russes. Le levé complet du cours du fleuve a été exécuté dans ces dernières années, et des améliorations progressives sont étudiées et réalisées sur ce grand et beau fleuve.

M. Fleury fait hommage à la bibliothèque, au nom de M. de Sytenko, conseiller au Ministère des communications, à Saint-Pétersbourg, de cette belle collection de cartes du Volga, peut-être la seule qui existe à Paris.

M. LE PRÉSIDENT félicite M. Fleury de sa très intéressante communication; il le charge de transmettre aux Ingénieurs russes les remerciements de la Société pour les documents dont ils ont bien voulu faire don à la Société par ses soins : il exprime en même temps l'espoir que cette collection sera complétée au fur et à mesure de l'achèvement des études.

M. LE PRÉSIDENT donne ensuite la parole à M. Thareau, pour sa communication sur les *Moyens de prévenir l'emballement des machines à vapeur et d'obtenir l'arrêt rapide des transmissions.*

(La communication de M. Thareau est insérée *in extenso*, avec deux planches, dans le *Bulletin* de janvier 1891 de la Société.)

M. LE PRÉSIDENT remercie M. Thareau de sa communication très intéressante et annonce qu'il donnera la parole, au commencement de la prochaine séance, aux membres, qui voudraient faire quelques observations sur ce que vient de dire M. Thareau.

M. LE PRÉSIDENT rappelle que M. le professeur Belelubski, notre savant collègue, a envoyé à la Société le procès-verbal de la conférence tenue à Berlin les 19 et 20 septembre dernier sur l'unification des méthodes d'essai des matériaux de construction, et que notre collègue M. Candlot, qui avait été délégué par la Société des Ingénieurs civils pour cette conférence, va faire une communication sur les résultats de cette réunion.

Avant de lui donner la parole, il veut rappeler brièvement les précédents.

En octobre 1884, M. le professeur Bauschinger réunissait à Munich soixante-dix-neuf Ingénieurs d'Allemagne, d'Autriche-Hongrie, de Russie, de Suisse. — Les travaux de cette conférence sont réunis dans le Journal de l'Association des Ingénieurs allemands, pages 829 à 831, année 1884. — Une sous-commission, sous la présidence de M. Bauschinger, fut chargée de divers travaux recherchés, etc... Les résultats furent l'objet d'une discussion en 1885 à Munich et furent ensuite présentés sous forme de rapports en 1886 à la conférence de Dresde.

Cette conférence spécifia les questions non éclaircies et nomma une sous-commission pour leur étude; elle vient de présenter à la conférence de Berlin ses propositions et il a été décidé qu'une conférence se tiendrait à Vienne en 1892.

M. LE PRÉSIDENT rappelle également que le congrès de mécanique appliquée qui était présidé par le savant et regretté Phillips a traité cette question.

M. l'Ingénieur en chef Cornut a présenté à ce congrès de mécanique appliquée un travail très remarquable :

« Sur la question des essais des matériaux et des déductions qui doivent se tirer des essais principaux au point de vue de l'emploi des matériaux. »

A la suite de cette communication, sur la proposition de M. Cornut, le congrès, à l'unanimité, émit le vœu suivant :

« Les membres du congrès international de mécanique appliquée, après en avoir délibéré, émettent le vœu que le gouvernement français prenne auprès des gouvernements étrangers l'initiative de la réunion d'une commission internationale ayant pour mission de choisir les unités communes destinées à exprimer les différents résultats des essais de matériaux et d'introduire une certaine uniformité dans les méthodes d'essais. »

Ce vœu ..ut transmis au Président du conseil, au Ministre des Travaux publics et au Ministre du Commerce et de l'Industrie.

Cette constitution de commission internationale est toujours chose fort difficile et délicate, cependant M. le Président croit pouvoir dire que tout est en bonne voie et qu'elle pourra probablement se constituer et fonctionner avant la réunion de 1892 de la conférence de Vienne.

Il serait très fâcheux pour les intérêts français que des conclusions fussent prises, des principes adoptés dans une semblable question sans l'intervention de la France.

Ceci dit, pour exposer la situation de la question, M. le Président donne la parole à M. Candlot qui se propose de résumer les travaux des conférences de Munich, de Dresde et de Berlin pour l'unification des méthodes d'essais des matériaux de construction en ce qui concerne spécialement les produits hydrauliques (1).

M. Candlot expose ce qui suit :

L'unification des méthodes d'essais des matériaux de construction présente un grand intérêt, aussi bien pour le constructeur que pour l'industriel. On doit rechercher à uniformiser non pas les essais eux-mêmes, qui peuvent être variés suivant la destination des matériaux, mais les méthodes employées pour les essais, les machines, la dimension et la forme des éprouvettes, etc.

On s'est occupé de cette question à plusieurs reprises en France. En Allemagne, une commission permanente pour l'unification des méthodes d'essais s'est constituée en 1884, sous la présidence de M. le Professeur Bauschinger ; une première conférence a eu lieu à Munich du 22 au 24 septembre 1884 ; une seconde s'est tenue à Dresde les 20 et 21 septembre 1886, et enfin la troisième a eu lieu à Berlin les 19 et 20 septembre 1890. La quatrième conférence se tiendra à Vienne en 1892. Les nations représentées à la conférence de Berlin étaient l'Allemagne, l'Autriche, la Russie, la Suisse, la Suède, la Belgique, la Hollande et enfin la France.

Avant de parler de la conférence de Berlin, il est nécessaire de donner un exposé des résolutions prises à Munich et à Dresde. Toutefois on se bornera à parler des essais des chaux et des ciments, les résolutions prises à Berlin en ce qui concerne les métaux seront lues à une autre séance.

Les conférences de Dresde et de Munich ont adopté les classifications suivantes pour les chaux et les ciments : chaux hydrauliques, ciments romains, ciments Portland, gangues hydrauliques, ciments Pouzzolane, ciments mixtes.

En France, nous avons une classification plus précise pour les chaux hydrauliques ; cette classification est toujours celle de Vicat. MM. Durand-Claye et Debray ont adopté, pour les ciments, la classification suivante : ciments de grappiers de chaux, ciments dits à prise rapide (genre Vassy), ciments Portland naturels, ciments mixtes, ciments Portland artificiels, ciments de laitiers.

(1) Les conclusions des conférences sur l'unification des méthodes d'essai pour l'épreuve des matériaux de construction et sur leurs propriétés mécaniques ont été publiées par Théodore Ackermann, Munich, 1887.

Les essais auxquels sont soumis les produits hydrauliques sont exécutés d'après un principe différent de celui qui est adopté pour les essais des métaux. L'expérience faite sur un métal peut donner des indications utilisables en pratique parce que le métal est essayé dans un état qui ne pourra plus se modifier par la suite. Les produits hydrauliques subissent, au contraire, au moment de la mise en œuvre, une transformation qui ne s'arrête qu'après un temps impossible à déterminer. On doit donc se borner à établir des comparaisons.

Les épreuves auxquelles on doit soumettre les produits hydrauliques ont été fixées de la manière suivante à Munich et à Dresde :

Détermination du poids spécifique. — Au moyen du volumètre.

Finesse de mouture. — On emploie les tamis de 900 et 4 900 *m* par *cc* pour le ciment Portland et de 900 à 2 500 *m* pour les autres produits.

Prise. — On gâche le produit pur de manière à obtenir une pâte de consistance normale; pour cela on emploie une quantité d'eau telle que si on fait pénétrer dans la pâte une aiguille cylindrique de 1 c^2 à la base et chargée d'un poids de 300 *g*, cette aiguille s'arrête à 6 *mm* au-dessus du fond de la boite contenant la pâte; la boite doit avoir 0,04 *m* de hauteur et 0,08 *m* de diamètre. On considère que le produit a commencé sa prise quand l'aiguille Vicat pesant 300 *g* et ayant 1 mm^2 à la base, ne peut plus traverser complètement la pâte; la prise est complètement terminée quand l'aiguille ne produit plus aucune empreinte.

Essais de résistance. — Les essais se font sur un mélange composé de une partie en poids du produit et de trois parties de sable normal. L'épreuve de résistance à la compression s'exécute sur des cubes de 50 c^2 de surface; les épreuves à la traction se font à l'aide de l'appareil allemand et des éprouvettes de la forme allemande, avec 5 c^2 de section de rupture.

On exécute à peu près les mêmes essais en France ; on ne se préoccupe pas cependant du poids spécifique. Les essais de résistance se font, à la traction surtout, sur des éprouvettes de la forme allemande; on essaie le produit gâché pur et le mortier 1 : 3. La façon de faire les essais est décrite très minutieusement dans le cahier des charges de M. Guillain.

Conférence de Berlin. — Extraits du compte rendu des séances :

Sur le point 10. — Détermination du poids du volume des liants hydrauliques. Cet essai doit se faire de trois manières : 1° par tamisage, au moyen de l'appareil Tetmajer; 2° par tassage, à l'aide du même appareil; 3° par remplissage à la main, avec l'appareil à entonnoir et le litre normal ayant 0,10 *m* de hauteur.

A la suite de la conférence faite par M. le Professeur Debray, il est décidé de renvoyer à la commission permanente les recherches ultérieures à faire sur l'action de l'eau de mer sur les produits hydrauliques.

Point 12. — Recherche des méthodes convenables rapides pour la détermination de l'invariabilité de volume des ciments Portland et des autres produits hydrauliques.

La question est renvoyée à la commission et on espère que l'association des fabricants de ciment l'étudiera de son côté pour que l'on puisse arriver à trouver un procédé basé sur des raisons concluantes.

Point 13. — Recherches sur la possibilité de remplacer les tamis à fils par des tôles perforées. — La conférence est d'avis que la tôle perforée est nettement préférable aux tamis à fils, et la détermination de la grandeur des trous et de l'épaisseur de la tôle est renvoyée à la Commission.

Sur le point 14. — Détermination d'un sable normal uniforme. — La conférence décide que le sable normal, dans le sens étroit du mot, doit être celui de Freienwalde, obtenu par le tamisage, sur des tôles perforées, et dans un état tel qu'il tienne le milieu entre les deux sables obtenus, l'un à travers des tamis de 60 et 120 mailles, et l'autre à travers des tamis de 64 et 144 mailles. Les pays autres que la Prusse chercheront un sable normal se rapprochant le plus possible de celui de Berlin. La commission doit recueillir des renseignements pour établir des coefficients de comparaison entre les divers sables et celui de Berlin.

Les points 15, 16 et 17. — Sur la détermination de la consistance du mortier normale, de la compacité égale des éprouvettes, des épreuves de résistance du ciment gâché pur, de l'essai avec sable normal après trois jours, de l'appréciation rapide des qualités des produits hydrauliques, de la force d'adhérence des produits hydrauliques. — Sont renvoyés à la Commission.

La conférence de M. Debray a été écoutée avec la plus grande attention à Berlin, et le nouveau champ de recherches ouvert sur la question des mortiers employés à la mer conduira à des résultats certainement intéressants.

La détermination du poids du volume ne présente une certaine importance que pour les chaux et les sables.

Au sujet de l'invariabilité de volume des produits hydrauliques, M. Tetmajer a exposé, dans un rapport très complet, les résultats d'essais exécutés de diverses manières, en vue de rendre compte de la constance de volume. Il conclut en disant que l'épreuve la plus sûre est celle de cuisson, qui consiste à plonger dans l'eau froide une galette du produit gâché pur; l'eau est ensuite chauffée doucement, de manière qu'elle entre en ébullition au bout d'une heure environ. M. Tetmajer estime que tous les ciments qui ne résistent pas bien à cette épreuve contiennent de la chaux libre.

Cette affirmation est peut-être un peu trop absolue, car des ciments ne contenant certainement pas de chaux libre, tels que les ciments demi-cuits, mais d'une composition normale et bien homogènes, ne résistent pas non plus à l'essai à l'eau chaude; en pratique, ils donnent cependant de très bons résultats. L'essai à l'eau chaude ne peut être appliqué dans toute sa rigueur que pour les fournitures destinées aux travaux à la mer, pour lesquels les produits hydrauliques doivent présenter des propriétés particulières.

Pour les autres travaux, il y aurait avantage à prendre de préférence la méthode indiquée par M. Le Chatelier; elle consiste à tenir immergées dans l'eau à 80° des briquettes de mortier 1 : 3, que l'on casse après deux et sept jours. Les ciments contenant 2 0/0 de chaux non combinée ne résistent pas à cet essai ; les ciments demi-cuits le supportent bien.

On a beaucoup discuté à la conférence de Berlin sur la question du sable normal. Le sable allemand est un sable naturel composé de quartz pur. En France, on emploie depuis 1886 un sable artificiel obtenu par le concassage de quartzite de Cherbourg. Ce sable est calibré au moyen de tamis de 64 et 144 mailles. Le sable artificiel procure des résistances à la compression un peu inférieures à celles que l'on obtient avec le sable naturel.

M. Candlot termine en exprimant le vœu que les représentants de la Société des Ingénieurs civils soient nombreux à Vienne en 1892; leur présence à la conférence, tant au point de vue des métaux qu'à celui des produits hydrauliques, pourra contribuer puissamment à la réalisation d'une œuvre destinée à être d'une grande utilité à l'industrie.

M. LE PRÉSIDENT remercie M. Candlot de son exposé très net des travaux de la conférence, quant à la question spéciale des chaux et ciments. Il espère qu'un autre membre de la Société voudra bien se charger de faire un exposé analogue relatif aux essais des matières métalliques.

Avant de lever la séance, M. LE PRÉSIDENT annonce pour le 17 avril une communication très intéressante de M. de Coëne sur :

« *L'outillage des voies de communication, canaux, rivières, ports de mer, chemins de fer.* »

Cette communication formera un travail d'ensemble sans parti pris. M. de Coëne n'a eu en vue que la sauvegarde des intérêts du pays qui sont toujours d'accord, il ne faut pas s'y tromper, avec ceux des divers transporteurs, puisque la prospérité générale du commerce et de l'industrie amène les prospérités partielles saines, prospérités qui persistent et n'ont rien à voir avec ces prospérités momentanées malsaines qu'amènent les concurrences.

« *Par l'union et le conseil on vient à bout de tout* », c'est un vieil adage romain ; ce doit être notre base dans cette affaire comme en tout, nous devons avoir ici constamment en vue les intérêts du commerce et de l'industrie qui sont d'accord avec les intérêts entendus *sainement* des ports, chambres de commerce, canaux, chemins de fer, roulage, etc.

M. LE PRÉSIDENT demande donc à tous les membres que cette question intéresse de se préparer à la discussion et de vouloir bien venir le 17 avril ; si ces appels sont entendus, il ne doute pas qu'il ne ressorte de l'ensemble des communications et des discussions un ensemble d'idées établissant comme principe que l'on doit chercher à transporter voyageurs et marchandises le plus économiquement possible en s'efforçant de réduire non seulement les frais d'exploitation, mais aussi les dépenses de premier établissement parce que plus les droits, tarifs, impôts, pourront être diminués, plus la prospérité générale se développera et plus les intérêts particuliers en bénéficieront.

M. LE PRÉSIDENT annonce aussi, pour le 15 mai, des communications de MM. Hillairet, de Bovet et Buron, sur la transmission de force par l'électricité.

M. LE PRÉSIDENT rappelle que M. Hillairet est un électricien de grand talent, qui a fait de nombreuses installations électriques en France et à

l'étranger; que M. de Bovet a fait des installations électriques au Brésil, et que M. Buron sera à même de donner quelques renseignements sur les installations électriques de la Compagnie d'Orléans.

M. LE PRÉSIDENT croit que cette question est très importante et donnera à la séance où elle sera traitée un très grand intérêt. Il espère que pour la même époque M. Vigreux pourra aussi nous faire une communication sur les projets de transmission de force par l'électricité produite par la captation des eaux du Niagara. Il y aura sur ce point à transporter 125 000 *ch* de force.

M. LE PRÉSIDENT indique que cette question est en discussion devant la Commission de Londres; ce n'est que quand cette Commission aura décidé, que M. Vigreux pourra faire sa communication. Ainsi, deux séances seront consacrées à traiter dans tous ses détails cette question de transmission de force par l'électricité, qui est très importante pour l'art de l'Ingénieur.

La séance est levée à onze heures.

Séance du 20 Février 1891.

PRÉSIDENCE DE M. E. POLONCEAU

La séance est ouverte à huit heures et demie.

Le procès-verbal de la dernière séance est adopté,

M. LE PRÉSIDENT a le profond regret d'annoncer la mort de notre collègue, M. Furno (Édouard-Jean-Joseph), décédé à Hyères.

Presque à sa sortie de l'école de Châlons, il entrait, en 1846, à la Compagnie d'Orléans, où il restait jusqu'au 15 février 1890, époque à laquelle il fut pensionné, étant inspecteur du service des machines.

Il faisait partie de la Société des Ingénieurs civils depuis 1883 et avait été pendant plusieurs années membre du Comité et vice-président de l'Association des Anciens Élèves des Écoles des Arts et Métiers.

Il avait reçu les palmes d'officier d'Académie en 1890.

Furno a rempli ses fonctions pendant quarante-quatre ans à la Compagnie d'Orléans avec le plus grand dévouement; en 1870, il était à la tête du grand dépôt de machines de Paris et sut, par son intelligence, son énergie et sa bonne humeur, éviter bien des difficultés, car, tout en maintenant strictement la discipline, il savait se faire aimer de son personnel.

C'était un travailleur et un chercheur : il employait, depuis bien des années, ses congés à voyager en France et à l'étranger, et rapportait toujours une série de notes et renseignements fort utiles, cherchant à répandre ce qu'il avait vu et à en faire profiter tout le monde dans un but tout à fait libéral, car c'était un caractère droit et loyal. Il n'avait que des amis qui le regrettent tous profondément.

M. le Président donne connaissance de la lettre suivante, qu'il a reçue de M. Armengaud aîné fils :

« Monsieur le Président,

» Vous avez bien voulu, dans la séance du 6 courant, annoncer à la Société la mort d'un de ses membres les plus anciens, M. Jacques Armengaud, mon père. Je vous prie d'agréer, tant en mon nom personnel qu'au nom de tous les miens, l'expression de notre vive gratitude, pour le souvenir honorable que vous lui avez accordé.

» Je vous demande la permission de relever, dans les paroles sympathiques que vous avez prononcées à cette occasion, une erreur involontaire qui vous a fait attribuer la création de *la Publication industrielle des machines* à la collaboration de M. Jacques Armengaud et de son frère, M. Charles Armengaud.

» Mon père a été le seul initiateur de cette revue, pour laquelle l'Académie des sciences, sur la proposition d'un de nos plus éminents présidents, M. Tresca, lui a décerné le prix de Mécanique en 1882. En dehors de cet ouvrage important, qui comprend actuellement trente-deux volumes, il publia, toujours seul, un *Traité théorique et pratique des Moteurs hydrauliques*, un *Traité des Moteurs à vapeur*, *le Vignole des mécaniciens*, des études économiques sur *la Meunerie*, *la Boulangerie*, *le Commerce et la Production des céréales*, *la Composition des plantes agricoles*, *des terres de culture*, *des engrais*, etc.

» C'est avec la collaboration de M. Charles Armengaud qu'il créa *le Génie industriel*, revue des inventions nouvelles; et le *Cours raisonné de dessin industriel*.

» J'espère, Monsieur le Président, que vous ne retiendrez de cette rectification que le désir que j'ai de voir attribuer à mon père les œuvres qui lui sont propres, l'affection réciproque qui a toujours existé entre lui et son frère ne pouvant laisser de doute sur la pensée qui me guide.

» Je vous prie d'agréer, Monsieur le Président, etc. »

M. le Président a le plaisir d'annoncer que MM. Guillotin et Richemond ont été nommés membres du Comité consultatif des chemins de fer; que MM. Léon Appert, Denis Poulot, Gibault, Liébaut, Parent et Th. Villard ont été nommés membres du Conseil supérieur du travail.

M. le Président annonce que, parmi différents ouvrages reçus de divers collègues et de diverses administrations figure (envoyé par M. Bourdet, administrateur délégué de la Société des Anciens Établissements Cail) un exemplaire d'une photographie d'une locomotive compound système Mallet, qui va être mise en service à la Compagnie des chemins de fer d'intérêt local de l'Hérault; ainsi qu'un ouvrage fort intéressant de notre collègue M. R.-W. Hutton sur le pont Washington à New-York.

M. le Président fait part d'une lettre reçue de notre collègue, M. Poillon, qui habite Mexico, et par laquelle ce dernier informe la Société qu'il s'occupe de toutes les questions de brevets au Mexique, et

donne sur le régime des brevets dans ce pays des renseignements que les membres de la Société pourront se procurer au Secrétariat.

M. LE PRÉSIDENT annonce qu'une Exposition internationale d'électricité doit s'ouvrir à Francfort-sur-le-Mein, le 15 mai 1891. Elle doit avoir une durée de cinq mois (du 15 mai au 15 octobre 1891).

On peut s'adresser, pour obtenir des renseignements, au Ministère du Commerce, de l'Industrie et des Colonies, 99, rue de Grenelle (bureau du cabinet du Secrétariat).

M. LE PRÉSIDENT signale une lettre de notre collègue, M. Jouffret, ingénieur délégué des chantiers de la Buire, par laquelle il informe la Société que la Compagnie des Omnibus met en service une voiture à vapeur (système Rowan), construite par les chantiers de la Buire, et que cette voiture sera à la disposition des membres de la Société jeudi prochain, à trois heures, départ de la place Pigalle. Trente cartes seront déposées à partir de mardi, au Secrétariat, pour qu'un nombre égal de membres puisse assister à cet essai.

M. LE PRÉSIDENT annonce que M. Charles Lucas a envoyé le numéro 4 du Bulletin de la Société française des Habitations à bon marché, contenant le rapport du Jury du concours ouvert pour la construction de maisons à bon marché à Saint-Denis (Seine), ainsi que le programme du nouveau concours ouvert par cette Société.

M. LE PRÉSIDENT donne la parole à M. A. Tresca pour faire une communication sur un ouvrage de M. Ronna sur *les Irrigations*.

M. A. TRESCA dit que M. Ronna, qui depuis plusieurs années se trouve retenu hors de France par d'importantes fonctions, l'a chargé de présenter à la Société, en son nom, un ouvrage en trois volumes sur les irrigations. Cet ouvrage rend compte d'un certain nombre d'études faites par M. Ronna et résume la question des irrigations, qui se divise en deux parties distinctes : la partie culturale, et une autre qui est plus du domaine de l'Ingénieur ; M. Tresca rappelle à cet égard l'importance de certaines installations faites dans ces dernières années en Egypte. Lorsqu'on a voulu cultiver au moyen d'irrigations la province de Béhéra, Boghos-Nubar-Pacha a prié M. Farcot, d'une part, et M. Vigreux, de l'autre, d'installer à Ktatbeh et à Afteh un certain nombre de machines élévatoires, élevant un très grand volume d'eau à une faible hauteur. La première de ces usines élève 40 m^3 par seconde, soit 3 456 000 m^3 en vingt-quatre heures, avec des moteurs d'une puissance de 3 500 *ch*. Dans l'autre usine M. Vigreux a installé des roues élévatoires, roues Sazebien renversées, ayant 10 *m* de diamètre et 3,60 *m* de largeur. Ces appareils peuvent élever en vingt-trois heures (une heure d'arrêt pour le graissage et le nettoyage) 4 millions de mètres cubes par jour.

Cette question des irrigations a été parfaitement traitée par M. Ronna, dans son ouvrage.

Le premier chapitre traite : de l'utilité des irrigations pour augmenter le rendement des bonnes terres et la proportion des regains, pour permettre dans certains pays, comme l'Italie et les Indes, la culture du sol qui sans cela resterait stérile.

Le second chapitre porte sur les principes de l'irrigation.

Dans le troisième chapitre, l'auteur examine tout d'abord les terrains des diverses formations au point de vue du régime des eaux, ainsi que l'effet particulier de ces eaux sur les sols provenant de ces terrains dont le pouvoir d'absorption et de rétention varie suivant leur nature physique ainsi que celle des sous-sols.

Le quatrième chapitre traite des eaux et des limons d'irrigation ; la meilleure eau d'irrigation, dit M. Ronna, est une eau chimiquement impure, qui abandonne le plus facilement au sol les principes fertilisants qu'elle renferme. Ces principes dépendent tout d'abord des terrains qu'elle traverse.

Le cinquième chapitre expose la question de l'approvisionnement des eaux, puits, puits artésiens, sources, réservoirs, canaux, enfin des grands réservoirs d'irrigation obtenus par le barrage d'une vallée, par exemple.

Le sixième chapitre parle des machines élévatoires et des moteurs en usage lorsqu'on ne peut pas, par une simple dérivation, obtenir l'eau à un niveau suffisant pour la déverser sur les terrains à arroser.

Dans ce chapitre se trouvent aussi décrits, avec quelques détails, les procédés employés anciennement pour élever les eaux nécessaires aux irrigations.

M. A. Tresca cite, à ce sujet, d'après M. Ronna, une disposition de ces appareils très primitifs.

Une perche en bois, oscillant en son milieu sur un support, portait, à l'une de ses extrémités, une corde terminée par un panier rendu étanche; à l'autre extrémité on attachait un contrepoids suffisant pour équilibrer le poids du panier rempli d'eau.

En agissant sur la corde à bras d'homme, on plongeait le panier dans le bief inférieur et on le forçait à s'y remplir, en même temps que le contrepoids était soulevé ; celui-ci, agissant à son tour, soulevait le panier à une certaine hauteur, et son contenu se déversait soit dans le bief supérieur, si la hauteur d'élévation était faible, soit dans un bief intermédiaire, dans lequel un autre appareil semblable pouvait puiser une certaine quantité d'eau et l'élever d'une certaine hauteur.

Le septième chapitre contient les questions relatives aux canaux, prises d'eau avec barrages en rivière, canaux de dérivation et d'irrigation, enfin se termine par des indications sur les dépenses d'établissement des canaux d'irrigation.

Le huitième chapitre traite du jaugeage des eaux courantes et de la distribution des eaux d'irrigations ; partiteurs, modules, etc. Cette question de la répartition des eaux, entre les différents intéressés, et en raison de la surface des terrains à irriguer, présente de grandes difficultés, et l'on n'est arrivé à la résoudre que d'une manière très incomplète et par suite insuffisante.

Le neuvième chapitre expose les différents systèmes d'irrigation, en examinant successivement les systèmes d'ouvrages par déversement, par submersion, par infiltration et par aspersion, ainsi que les meilleurs tracés des rigoles d'irrigation.

Le chapitre dixième passe en revue les différentes cultures arrosées ;

prairies, rizières, céréales, maïs, racines et tubercules, plantes industrielles, vigne, arbustes, et enfin, plantes potagères et florales.

Dans le onzième chapitre se trouve traitée l'économie des irrigations, comprenant la consommation d'eau par hectare et par nature de cultures ainsi que le coût de l'irrigation.

Enfin, un dernier chapitre très important est relatif à l'histoire, la législation et l'administration concernant les irrigations.

On voit donc que M. Ronna a cherché dans cet ouvrage à réunir tout ce qui s'est dit et écrit sur la question des irrigations, en y ajoutant le résultat de ses études personnelles, aussi ce travail mérite-t-il d'être consulté par tous ceux que la question intéresse.

M. LE PRÉSIDENT remercie M. Tresca d'avoir bien voulu faire cet exposé très clair et très succinct, trop succinct même, de l'ouvrage important de M. Ronna. La question des irrigations est très importante, et, malheureusement, jusqu'à ce jour n'a pas été traitée suffisamment dans notre Société.

La branche du Génie agricole est appelée à devenir importante en France, et ceux de nos collègues qui voudront bien faire des communications sur les recherches des Ingénieurs dans les questions d'exploitation agricole contribueront pour une large part au bien de la Société et à la prospérité de la France.

M. LE PRÉSIDENT donne la parole à M. Heilmann pour sa communication sur *Un Nouveau Système de Chemin de fer électrique*.

M. HEILMANN dit que le système qu'il propose permet d'appliquer la propulsion électrique aux trains destinés à circuler sur les voies ordinaires et sans aucune modification à ces voies.

Il est motivé par les deux raisons qui suivent :

1° La traction électrique se prête à la réalisation des grandes vitesses, beaucoup mieux que la traction par locomotives à vapeur :

2° L'application de la traction électrique par les systèmes connus jusqu'ici, à des lignes à long parcours, entraîne à des dépenses hors de proportion avec le but à atteindre.

Le système proposé se caractérise par les dispositions suivantes :

1° Chaque voiture est un véhicule électrique, portant ses moteurs, de sorte que *la traction est supprimée*.

2° Les moteurs sont alimentés par une génératrice placée en tête du train, cette génératrice et le moteur qui l'actionne étant disposés sur un véhicule spécial, qui remplace la locomotive actuelle.

M. J.-J. Heilmann décrit un projet de train de ce système, destiné à franchir des rampes de 5 *mm* à la vitesse de 80 *km* à l'heure et pouvant marcher, en palier, à la vitesse de 120 à 130 *km*.

Ce train serait composé exclusivement de matériel à bogies, qui offre des avantages bien connus, lorsqu'il s'agit de trains de vitesse. Chaque bogie porte un moteur dont l'induit est calé directement sur l'essieu. Cette réceptrice est une machine multipolaire à balais tangents, pouvant tourner dans les deux sens. La génératrice est une dynamo analogue ; elle est actionnée par une machine à vapeur légère, à triple expansion,

dont la puissance effective est de 600 chevaux. La puissance recueillie sur les essieux est de 480 chevaux, le rendement industriel du système étant de 80 0/0. Ces 480 chevaux sont répartis entre 12 moteurs, le train comprenant 3 voitures, un fourgon-tender et le véhicule de tête. (Poids total : 170 tonnes.)

Les réceptrices sont à excitation séparée, l'ensemble du système de distribution étant tel que toutes les manœuvres (mise en marche, arrêt, ralentissement, renversement de marche, etc., etc.) soient exclusivement électriques. Les induits sont groupés en série. Les inducteurs, alimentés par un circuit spécial, peuvent être disposés en série ou en dérivation sur ce circuit.

On réalise ainsi les avantages suivants :

1° Diminution de la résistance totale du train (ce fait provenant en grande partie de la suppression de la locomotive, qui absorbe quelquefois à elle seule la moitié de la puissance). Pour l'application aux grandes vitesses, le véhicule de tête sera terminé en pointe, en vue de réduire la résistance de l'air ;

2° Réalisation d'un système à adhérence parfaite, tous les essieux pouvant être moteurs (par suite, facilité de franchir de fortes rampes) ;

3° Facilité de répartir la charge d'une façon normale sur les essieux, sans augmenter la rigidité du système ;

4° Démarrage rapide, le travail de la machine à vapeur n'étant pas aussi intimement lié à la vitesse du train que dans la locomotive ordinaire.

Personne ne demandant la parole, M. LE PRÉSIDENT demande la permission de faire une observation.

Il croit certainement que l'avenir appartient à l'électricité, il y aura encore de grandes découvertes en fait d'application, et il est très possible que, dans l'avenir, les chemins de fer électriques se développent de plus en plus. Il en existe un en Autriche qui, tous comptes faits, rapporte 5 0/0 ; par conséquent, la solution est pratique.

Quant à l'admission sur les grandes lignes de matériel aussi considérable, il croit qu'il faut encourager les essais de ce genre, mais que cette solution n'est pas complètement acceptable.

Les Compagnies n'ont pas adopté les bogies, elles en ont seulement fait l'essai. Le poids mort par voyageur et par place occupée est beaucoup augmenté par l'emploi des bogies, il est de 750 *kg* ; or, dans les voitures ordinaires, le poids mort n'est que de 300 à 330 *kg*. Il n'est donc guère possible d'employer des voitures à bogies dans de grandes proportions sans augmenter les dépenses d'une façon très notable.

M. le Président remercie M. Heilmann de sa très intéressante communication et donne la parole à M. Cacheux pour sa communication sur *les Habitations ouvrières à l'Exposition de 1889*.

M. CACHEUX, avant d'entrer dans son sujet, demande la permission d'annoncer que la Société française des habitations à bon marché a organisé un concours ayant pour effet de faire une enquête dans tous les départements français sur l'état des habitations dans des localités déterminées.

Les concurrents sont invités à étudier ensuite le plan des habitations

nécessaires qu'il conviendra d'établir pour que les personnes soient logées convenablement. En troisième lieu, les concurrents diront quelles sont les combinaisons financières qui leur paraitraient les plus propres à permettre la construction de ces maisons.

La Société décernera des prix, dont la valeur s'élèvera à 5 000 *f* environ.

Il est intéressant pour les Ingénieurs de prendre part à ce concours.

M. LE PRÉSIDENT dit que le programme des conditions du concours sera déposé au Secrétariat où nos collègues pourront en prendre connaissance.

M. E. CACHEUX dit que le rôle de l'Ingénieur dans la construction est devenu, depuis quelques années, beaucoup plus important. Autrefois il n'intervenait que pour calculer quelques fers à plancher. Maintenant on a recours à lui pour le chauffage, l'éclairage, la ventilation, l'évacuation des eaux ménagères, en un mot pour tout ce qui concerne le confort et la salubrité de l'habitation.

Si on examine les maisons ouvrières exposées en 1889, on voit que les matériaux n'ont pas augmenté en nombre. Par un emploi judicieux l'Ingénieur arrive à construire meilleur marché que l'architécte. M. Cacheux dit que, pour lui faciliter cette tâche, il a réuni dans un ouvrage, *l'Economiste pratique*, tous les renseignements qui peuvent lui être utiles en vue de construire des écoles, des bains et lavoirs, des cercles populaires, des hôpitaux, etc., etc.

A l'Exposition figuraient des constructions élevées par différents de nos collègues : un hôpital en bois par M. Périssé, un théâtre incombustible en tôle ondulée de M. de Schryver, une maison en bois de M. Poitrineau.

On peut reprocher à l'Ingénieur ses constructions monotones, mais, somme toute, l'économie n'est blâmable que lorsqu'elle s'exerce aux dépens de l'hygiène. Il faut avant tout un éclairage solaire direct dans toutes les pièces.

M. Trélat a proposé de démolir par expropriation tous les étages supérieurs des maisons trop hautes. Les grandes percées n'assainissent pas Paris, car le terrain augmente de valeur, on l'utilise davantage et les cours deviennent plus petites. La mortalité ne diminue pas à Paris. La moyenne est de 26 pour 1 000.

Il vaut mieux désencombrer le centre en créant à la périphérie pour les ouvriers des petites maisons destinées à leur famille. M. Cacheux dit qu'il a donné l'exemple et son expérience montre qu'on peut créer à Paris des *Building Societies* comme en Angleterre et en Amérique. M. Cacheux a étudié dans une publication spéciale dont il dépose un exemplaire pour la bibliothèque tous les types de maisons exposées en 1889. Il étudiera d'abord les conditions que doivent remplir les habitations pour travailleurs.

Maisons pour célibataires.

Ceux-ci sont logés, soit chez leurs patrons, souvent alors dans de mauvaises conditions hygiéniques, soit dans des familles, ce qui peut avoir des inconvénients, soit dans des maisons affectées à ce genre de location,

appelées hôtels des ouvriers. M. Cacheux rappelle la maison de cette nature construite par le gouvernement français en 1852, ainsi que celles d'Ougrée et de Micheroux en Belgique. Dans ce dernier pays, l'ouvrier en quittant la mine prend un bain et des vêtements neufs. M. Marteau, notre collègue, a également construit un hôtel de ce genre au Thillot.

Logements pour ouvriers mariés.

En Suède, on trouve encore suffisants des logements composés d'une pièce et d'une cuisine. Ce n'est pas assez.

M. E. Muller indique comme suit la composition d'une maison de ce genre.

1 salle de réunion.	$4 \times 4 = 16$ soit	16 m^2
2 chambres à coucher . . .	$3 \times 4 = 12 \times 2$	24
1 cuisine.	$2 \times 3 = 6$	6
Escaliers et divers.		4
TOTAL.		50

Cependant, en pratique, on n'établit que des logements composés de deux pièces et d'une cuisine. A la campagne M. Carl Romstorfer trouve nécessaires une cuisine-salle à manger et des abris pour les animaux domestiques.

Tout le monde n'admet pas les petites maisons. M. Godin, de Guise, a construit le superbe familistère que tout le monde connait. M. Pullmann a fait le contraire.

Le prix du terrain n'est pas un obstacle. On peut construire des petites maisons sur des terrains valant jusqu'à 25 ou 30 *f* le mètre. Ce qui est un obstacle ce sont les charges qui pour un loyer de 300 *f* peuvent arriver jusqu'à 120 *f*, se décomposant en :

Impôt, balayage . .	40 » *f*
Eau.	28 »
Vidange	40 »
Divers	12 »
TOTAL . . .	120 » *f*

On voit donc que le problème a été résolu de diverses manières.

Action des souverains.

Christian IV, dès le XVI^e^ siècle, construisait des maisons pour les marins danois.

Napoléon III, le Roi des Belges, Alphonse XII d'Espagne, le Prince Albert suivirent cet exemple.

Action des États.

Elle peut être morale, législative et pécuniaire. M. Cacheux a indiqué dans ses livres *les Habitations ouvrières* et *l'Economiste pratique* ce qu'ont fait dans cette voie les gouvernements anglais, belge, allemand et français.

Action des municipalités.

Celles-ci agissent par les règlements qu'elles font, les enquêtes, les tables de mortalité. Une cité modèle est celle de Reims. Elles peuvent

intervenir soit pécuniairement comme à Liège ou par une garantie d'intérêts comme à Lille, soit aussi en exemptant de certaines taxes.

Caisses d'épargne.

En Allemagne, en Italie, en Amérique, les caisses d'épargne emploient leurs capitaux en obligations foncières ou prêts hypothécaires. En Alsace, la Caisse d'épargne de Strasbourg construisit des maisons dès 1882. A Lyon, MM. Mangini, Aynard et Gillet ont fondé une Société pour la construction de maisons à bon marché et la Caisse d'épargne a souscrit la moitié des actions. A Marseille, la Caisse d'épargne est autorisée à construire des immeubles économiques et à avancer des fonds aux ouvriers laborieux désireux de construire eux-mêmes sous son contrôle.

Action des bureaux de bienfaisance.

En Belgique, les bureaux de bienfaisance ont construit des maisons d'ouvriers. Le bureau d'Anvers a construit tout un quartier, celui de Nivelles a bâti une vingtaine de maisons que les ouvriers peuvent acquérir en plaçant leurs économies à la Caisse d'épargne. Les bureaux de bienfaisance de Wavres et de Mons ont construit également chacun une cinquantaine de maisons faisant rapporter 3 0/0 à leur capital. M. Cacheux dit qu'il ne faut pas trop encourager les bureaux de bienfaisance à construire des maisons, et il estime que leur action doit se borner à souscrire des obligations émises dans ce but par l'industrie privée.

Action des Compagnies de chemins de fer.

Occupant un grand nombre d'ouvriers, les Compagnies des chemins de fer s'intéressent à la question des maisons ouvrières.

La Compagnie du Nord a exposé le plan de la cité du Bourget.

Celle de l'Est a exposé la cité de Reuilly.

Celle de l'Ouest a exposé un chauffoir pour ses mécaniciens.

Celle d'Orléans prête de l'argent à 3 0/0 à une Société privée.

Action des industriels.

En Allemagne, l'industriel doit pourvoir au logement de ses ouvriers. Depuis 1765 les cristalleries de Baccarat logent la moitié de leur personnel gratuitement. En 1819, M. de George, directeur du Grand Hornu, loua des maisons à son personnel. M. Decauvillle loge gratuitement ses ouvriers au bout d'un certain temps passé chez lui. De même MM. Thiriez, à Loos, près Lille.

Les Compagnies de Blanzy et d'autres font rapporter 2 0/0 au capital engagé dans leurs maisons ouvrières.

La Compagnie du Creusot fait des avances à ses ouvriers pour construire.

La Compagnie de la Vieille-Montagne fournit un champ à bas prix à ses ouvriers agricoles, ou garantit à des spéculateurs les loyers de ses ouvriers.

Les industriels ont exposé peu de maisons à étages, les maisons pour une famille sont nombreuses, elles sont isolées ou groupées par

deux comme celles de M. Menier à Noisiel, ou par quatre comme à Mulhouse, ou en ligne comme les chorons du Nord. M. Cacheux dit avoir reproduit dans ses ouvrages divers types exposés.

Certains industriels ont construit des maisons plus confortables, comme M. Pullmann, qui s'attache à donner à chaque habitant une maison entière. M. Dodge, qui éclaire ses locataires à l'électricité; M. de Nœyer, à Willebrœck, fournit des logements à bas prix à ses ouvriers. Il construit lui-même, et vend ses maisons par annuités, en retirant 3 0/0 de son capital.

M. Fanien, à Lillers (Pas-de-Calais), établit des maisons de cinq pièces pour 2 000 *f*; MM. Solvay et C^ie^, de Dombasle, ont construit une très belle cité ouvrière.

Action des particuliers.

M. Peabody a consacré de fortes sommes à la construction de maisons louées à 3 0/0. Le produit net des loyers est employé à de nouvelles constructions où 30 000 personnes sont logées. M. Faure, à Clermont, a commencé la construction d'une cité. M^me^ la marquise de Salisbury a fait construire des maisons avec les économies faites sur sa toilette. M. Dessaignes a fait une cité agricole.

M. Cacheux dit qu'il faut peu compter sur les particuliers pour construire des petites maisons, parce que c'est une opération peu rémunératrice.

En Angleterre, plusieurs pasteurs ont employé les aumônes recueillies à faire construire des habitations saines.

Action des sociétés.

M. Cacheux approuve les Sociétés qui paient les loyers des personnes honnêtes incapables de remplir leurs engagements ainsi que les Sociétés qui recueillent les petites sommes destinées à payer le loyer trimestriel. La Société *The Mansion house Council* améliore les habitations des quartiers malsains par suite d'une propagande active.

L'Association philanthropique, grâce à M. Picot, a construit un groupe de maisons rue Jeanne-d'Arc et à Grenelle et retire 4 0/0 de son capital.

Une Société construit des maisons pour la Compagnie d'Orléans et retire 4 0/0 de son capital qui lui est prêté par la Compagnie à 3 0/0.

MM. Naud et C^ie^ ont créé la commune de Billancourt en vendant des terrains avec facilité de paiement.

La Société coopérative des ouvriers de Paris a construit la villa des Rigoles; elle prospère.

La Société immobilière de Reims a pris le système des *Building Societies* anglaises; elle prête aux personnes qui veulent construire elles-mêmes et se fait rembourser par annuités.

La Société coopérative d'Orléans fut très prospère, grâce à la rareté des logements.

Aménagement des maisons et dispositions particulières relatives au chauffage, à la ventilation.

M. Cacheux dit que la Commission n'a pas cru devoir organiser un concours pour l'ameublement des maisons suivant sa proposition.

Chauffage, cuisson des aliments.

En Allemagne on se sert beaucoup de poêles en faïence qui permettent de chauffer les chambres avec la chaleur provenant de la cuisson des aliments. A Paris, on dispose dans les cheminées de petits fourneaux en fonte. En Angleterre, on ventile les petits logements au moyen de mitrons. A Christiania, cette ventilation est faite avec des tuyaux spéciaux d'une section quatre fois supérieure à celle des conduites de fonte.

Eau.

Le plus grand obstacle à l'emploi de l'eau est le prix élevé demandé par les compagnies des eaux aux petits propriétaires.

Évacuation des eaux ménagères.

Est à l'ordre du jour. Chez MM. Menier on les envoie dans les fosses à ordures.

Vidange.

MM. Menier emploient les détritus de cacao pour garnir les parois des tinettes, ce qui enlève l'odeur. Le système du tout à l'égout est à recommander. La Société de Passy-Auteuil paie pour ce système une redevance de 30 *f* par conduite horizontale qui dessert une maison.

Ordures.

En Amérique on brûle les ordures ; à Paris, dans quelques maisons, on les envoie dans un récipient au rez-de-chaussée, au moyen d'un tuyau, mais cela donne beaucoup de poussière.

En résumé, de grands progrès ont été faits dans la question des petites habitations depuis que le regretté M. Muller, en 1846, a commencé à s'en occuper. Le champ d'étude est encore vaste, et M. Cacheux espère que les nombreux élèves de M. Muller continueront son œuvre.

M. LE PRÉSIDENT remercie M. Cacheux de son intéressante communication qui pourra être utilement discutée dans une séance ultérieure. Cette question en effet est non seulement une question de santé et de bien-être mais aussi de morale. Il est bien certain que la vie de famille de l'ouvrier et du petit employé se développera d'autant plus qu'il trouvera chez lui une habitation salubre et agréable.

M. SIMON désirerait savoir pourquoi l'assistance publique qui employait autrefois des baraquements en planches semble, d'après le rapport de M. Cacheux, les rejeter aujourd'hui.

M. CACHEUX répond que, d'après les renseignements qui lui ont été donnés, cela serait dû à ce que le bois est perméable aux microbes et qu'en cas d'épidémie les baraquements en planches sont immédiatement infectés et ne sont plus bons qu'à être brûlés, ce qui cause une dépense considérable qui peut d'ailleurs se renouveler fréquemment s'il y a des épidémies.

La séance est levée à onze heures.

TRAVAUX

DES

CONFÉRENCES DE DRESDE, DE MUNICH ET DE BERLIN

SUR

L'UNIFICATION DES MÉTHODES D'ESSAI DES MATÉRIAUX DE CONSTRUCTION

NOTAMMENT EN CE QUI CONCERNE LES CHAUX ET LES CIMENTS

PAR

M. E.-L. CANDLOT

La question de l'unification des méthodes d'essais des matériaux de construction préoccupe depuis longtemps les Ingénieurs, les constructeurs et les industriels; pour les uns comme pour les autres, elle présente, en effet, un intérêt de premier ordre. Car, si le constructeur a besoin de posséder une méthode qui lui donne des résultats exacts, dans lesquels il puisse avoir toute confiance pour apprécier la qualité des matériaux qu'il doit employer, il n'est pas moins important pour l'industriel, non seulement d'avoir des règles précises qui le guideront dans sa fabrication, mais aussi de savoir que ses produits seront soumis à des épreuves uniformes et que les essais faits à l'usine et au chantier seront exécutés de la même manière.

Il est bien évident qu'il ne peut être question de déterminer d'une façon invariable les essais auxquels doivent être soumis les matériaux de construction; suivant leur destination, qui peut être très variée, on doit avoir des exigences plus ou moins grandes. Mais, où l'uniformité est nécessaire, c'est dans la méthode à suivre pour l'exécution des expériences, dans les procédés d'essais, dans les machines, la dimension et la forme des éprouvettes, etc.

Dès lors, les recherches faites de divers côtés peuvent être groupées et on peut en tirer des conclusions utiles; tandis que maintenant encore, quand on cherche à dégager une donnée générale de travaux qui ont en eux-mêmes une très grande valeur,

on se trouve le plus souvent arrêté à cause de la divergence dans les méthodes employées pour les essais, ce qui rend les comparaisons impossibles.

A plusieurs reprises on s'est occupé, en France, de l'unification des méthodes d'essais, et des discussions sur ce sujet se sont produites ici-même; M. A. Brüll a demandé dès 1881 l'unification des essais des ciments livrés aux grandes administrations. On en a parlé également au Congrès des procédés de construction en 1889. Mais il faut reconnaître que c'est en Allemagne où l'on a fait le plus d'efforts pour arriver dans cette voie à un résultat pratique. Ces efforts ont abouti à la constitution d'une commission permanente pour l'unification des méthodes d'essais des matériaux de construction; la première commission permanente a été constituée en 1884 à Munich, sur l'initiative de quelques techniciens allemands, suisses, russes et autrichiens; elle était présidée par M. Bauschinger, professeur à l'École supérieure technique de Munich. Une première conférence a été tenue à Munich du 22 au 24 septembre 1884; la deuxième a eu lieu à Dresde, les 20 et 21 septembre 1886, et enfin, la troisième s'est tenue à Berlin les 19 et 20 septembre 1890.

Aux conférences de Dresde et de Munich, l'Allemagne, la Suisse, la Russie et l'Autriche se trouvaient seules représentées; à Berlin on a pu réunir des Ingénieurs et des industriels venus de Hollande, de Suède, de Belgique et enfin de France.

La prochaine conférence se tiendra à Vienne en 1892 et on espère que le nombre des nations représentées sera plus grand encore, et que, selon l'expression de M. Bélélubsky, la conférence prendra un caractère réellement international.

Avant de commencer l'exposé des résolutions de la conférence de Berlin, je donnerai un résumé de celles qui avaient été prises aux conférences de Dresde et de Munich. J'aurais vivement désiré que cet exposé fût complet et qu'il m'eût été possible de donner un aperçu général de toutes les questions traitées; mais j'ai dû laisser de côté ce qui touche aux essais des métaux pour lesquels je dois avouer mon incompétence, et je n'aurai à vous entretenir que des essais des chaux et ciments. Je ne me dissimule pas que l'intérêt de ma communication en sera de beaucoup diminué, si je n'ai pas hésité malgré tout à la présenter, c'est que j'ai compté sur toute votre indulgence. Permettez-moi, d'ailleurs, d'exprimer le vœu qu'au prochain congrès la Société soit représentée par quelques-uns de ses membres

dont l'autorité en ces matières a été si souvent mise en lumière ici-même. Il n'est pas douteux que la Société veuille se tenir au courant d'un mouvement qui peut amener de si utiles résultats et qu'elle ne cherche même à y prendre une part active ; je ne crois pas trop m'avancer en disant que les membres de la Commission permanente le désirent vivement eux-mêmes.

Classification. — Les conférences de Dresde et de Munich ont fixé de la manière suivante la classification des divers produits hydrauliques :

1° *Chaux hydrauliques.* — Les chaux hydrauliques sont des produits obtenus par la cuisson de calcaires argileux ou siliceux qui, arrosés avec de l'eau, s'éteignent complètement ou partiellement sans augmenter sensiblement de volume. Suivant les circonstances locales, les chaux hydrauliques sont livrées au commerce en morceaux ou hydratées et pulvérisées.

2° *Ciments romains.* — Les ciments romains sont des produits obtenus par la cuisson de calcaires argileux, à fortes proportions d'argile, au-dessous de la limite de fusion, ne s'éteignant pas lorsqu'ils sont arrosés par l'eau, et devant, par conséquent, être soumis à une trituration mécanique pour être réduits en poudre.

3° *Ciments Portland.* — Les ciments Portland sont des produits obtenus par la cuisson, jusqu'à commencement de vitrification, de calcaires hydrauliques ou de mélanges de matières argileuses et calcaires qui sont ensuite triturées et réduites en fine poussière. Les ciments Portland doivent, en outre, contenir au minimum 1.7 parties de chaux par unité de substances hydrauliques.

L'addition de matières étrangères jusqu'à 2 0/0 du poids est tolérée dans la fabrication du ciment Portland, dans le but d'augmenter certaines qualités importantes au point de vue technique, et sans nécessité de changement dans la dénomination du ciment.

4° *Gangues hydrauliques.* — Les gangues hydrauliques sont des matières artificielles ou naturelles qui ne durcissent pas seules, mais qui fournissent des mortiers hydrauliques lorsqu'elles entrent en combinaison avec la chaux vive.

5° *Ciments Pouzzolane.* — Les ciments Pouzzolane sont des produits qui s'obtiennent par le mélange intime d'hydrate de chaux en poudre avec des gangues hydrauliques finement pulvérisées.

6° *Ciments mixtes.* — Les ciments mixtes sont les produits de

mélanges intimes de ciments fabriqués avec certaines matières propres à cet usage. Les ciments mélangés doivent être formellement désignés comme tels, avec indication des matières entrant dans leur composition.

Cette classification et ces définitions des divers produits hydrauliques ne sont peut-être pas aussi complètes qu'on pourrait le désirer. En ce qui concerne les chaux hydrauliques, il n'existe aucune différence entre les diverses classes de chaux. En France, on conserve toujours le classement de Vicat en chaux faiblement et moyennement hydrauliques, chaux hydrauliques proprement dites, et chaux éminemment hydrauliques, chaque espèce de chaux étant caractérisée par le temps de prise et l'indice d'hydraulicité. Il ne semble pas qu'il y ait lieu d'y renoncer; il nous paraît surtout nécessaire d'attacher, comme on l'a toujours fait chez nous, une grande importance à la composition chimique, moyen d'investigation qui a été un peu laissé de côté aux conférences de Dresde, de Munich et de Berlin.

Quant aux différentes sortes de ciments, la classification adoptée par la conférence réalise un grand progrès sur ce que nous avons en France. Jusqu'en ces derniers temps, et l'habitude en persiste encore, on a désigné sous le nom de ciment Portland tous les ciments à prise lente, aussi bien les véritables Portland artificiels ou naturels, que les ciments de grappiers, les ciments provenant de mélange de ciments prompts avec des grappiers, et même les ciments de laitier. M. Gobin, ingénieur des Ponts et Chaussées à Lyon, a déjà protesté contre la dénomination de ciment Portland artificiel donné au mélange de ciment prompt avec des grappiers de chaux. Plus récemment, MM. Durand-Claye et Debray, directeurs du laboratoire de l'École des Ponts et Chaussées, et membres de la Commission des ciments au Ministère des Travaux publics, ont adopté la classification suivante qui comprend bien toutes les classes de ciments :

Ciments de grappiers de chaux;
Ciments dits à prise rapide (genre Vassy);
Ciments Portland naturels;
Ciments mixtes ;
Ciments Portland artificiels;
Ciments de laitier.

Chacune de ces espèces de ciment peut être nettement caractérisée, soit par la composition chimique, soit par le mode de

fabrication, soit par les propriétés ; le poids spécifique, par exemple, est absolument différent entre un ciment Portland artificiel et un ciment de grappiers ou de laitier.

La classification adoptée à Dresde et Munich comprend les ciments romains, tandis que dans celle de MM. Durand-Claye et Debray, il n'est question que des ciments à prise rapide, genre Vassy. C'est qu'en Allemagne, en Suisse et en Russie, le nom de ciment romain n'est pas synonyme, comme chez nous, de ciment à prise rapide. Il existe dans ces différents pays des ciments romains qui font prise en plusieurs heures.

On n'a pas parlé non plus aux conférences de Dresde et de Munich des ciments de grappiers de chaux ; cela tient à ce que ces produits sont peu connus en Allemagne où l'on ne fabrique d'une façon à peu près exclusive que du ciment Portland artificiel ; la production de ce ciment dépasse actuellement 1 500 000 *t* par an.

Comme dernière observation à présenter sur les définitions adoptées à Dresde et Munich, on peut remarquer que, en ce qui concerne la composition du ciment Portland artificiel, on indique simplement que pour une partie d'éléments hydrauliques il doit contenir au moins 1,7 parties de chaux ; cette condition donne bien une limite inférieure à la teneur en chaux, mais elle n'indique rien au sujet de la limite supérieure, qui est beaucoup plus importante.

En France, le cahier des charges de M. Guillain impose un maximum à la teneur en chaux : le rapport de la silice et de l'alumine à la chaux ne doit pas être inférieur à 0,44. Partant de considérations théoriques, M. Le Chatelier a fait voir que dans les ciments Portland on doit avoir, d'une part, $\frac{Cao, Mgo}{Sio^2 + Al^2o^3} \leqslant 3$, et, d'autre part, $\frac{Cao, Mgo}{Sio^2 - (Al^2o^3, Fe^2o^3)} \geqslant 3$.

La composition des ciments Portland artificiels est donc renfermée dans des limites assez étroites et bien définies.

Essais. — Le principe même des essais que l'on exécute sur les produits hydrauliques est tout différent de celui qui est appliqué pour les métaux. Ici, non seulement l'épreuve fournit des renseignements sur la qualité du métal, mais elle donne encore une indication qu'il est possible d'utiliser directement en pratique ; c'est que le métal essayé sera employé dans le même état, et qu'il ne subira pas de modifications avec le temps ; le résultat constaté

au moment de l'essai peut être considéré comme acquis définitivement.

Il en est tout autrement avec les chaux et les ciments. On doit opérer sur un produit dont les qualités peuvent être profondément modifiées par la mise en œuvre ; ce produit n'est pas employé seul, il est mélangé avec du sable qui a une influence considérable sur la résistance ; enfin, il subit au moment de l'emploi une transformation qui ne s'arrête qu'après un temps dont la durée ne peut pas être fixée. Ces circonstances font que l'essai d'un produit hydraulique, la détermination de la résistance, par exemple, ne peut donner aucune indication sur ce qui se passe en pratique. On doit se borner simplement à établir des comparaisons et, pour cela, on cherche à se placer dans des conditions telles que ces comparaisons soient toujours possibles. C'est ainsi que l'on a été conduit, par exemple, à déterminer la résistance de l'agglomérant mélangé avec du sable, non pas en prenant le sable du chantier, ce qui donnerait autant de résultats que de sables employés, mais avec un sable de même nature et de même grosseur, que l'on appelle le sable normal, de manière à écarter les variations qui pourraient être introduites de ce fait dans les résistances. On demande également des résistances bien supérieures aux exigences des constructions, parce que ces résistances sont obtenues avec des éprouvettes qui n'ont aucune analogie avec les mortiers employés sur les chantiers.

Les épreuves auxquelles doivent être soumis les produits hydrauliques pour se rendre compte de leur qualité, ont été fixées de la manière suivante par les conférences de Dresde et de Munich :

Détermination du poids spécifique, du poids du volume, de la finesse, de la prise, de l'invariabilité de volume, de la résistance à la traction et à la compression, de la force d'adhérence.

Parmi ces essais, quelques-uns seulement ont été adoptés d'une manière définitive, les autres ont été examinés à la conférence de Berlin ou bien ont été renvoyés à la commission permanente.

Voici les décisions relatives aux essais admis définitivement:

Poids spécifique. — La détermination du poids spécifique d'un produit hydraulique (c'est-à-dire du poids spécifique des grains) doit être faite uniformément au moyen du volumètre.

Finesse de mouture. — La finesse de mouture sera déterminée au moyen de tamis de 900 et de 4 900 ^{m} par centimètre carré pour le ciment Portland et de 900 et de 2 500^{m} pour les autres produits

hydrauliques. La quantité à employer pour chaque essai est de 100 *g*. Les fils constituant les tamis doivent avoir pour les tamis

de	4900	2500	900^{m}
un calibre de	0,05	0,07	0,10 *mm*

Il est recommandé de prendre les tamis de la même fabrique.

Conditions de prise. — Pour tous les produits hydrauliques sauf le trass :

a) Les conditions de prise doivent toujours être observées à la température de 15 à 18 degrés centigrades.

b) On emploiera une pâte de consistance normale.

Pour déterminer cette consistance, on se sert du mesureur de consistance avec aiguille normale. Cet instrument se compose d'une tige de 0,01 *m* de diamètre avec un poids de 300 *g* et d'une boîte cylindrique de 0,04*m* de hauteur et 0,08 *m* de diamètre, faite avec une matière imperméable et mauvaise conductrice de la chaleur (de préférence en caoutchouc durci). Pour déterminer la consistance normale, on mélange 400 *g* du produit à essayer avec une certaine quantité d'eau de manière à former une pâte ferme que l'on travaille à l'aide d'une spatule en forme de cuiller, pendant trois minutes exactement pour les produits hydrauliques à prise lente. On place la pâte dans la boîte sans la tasser, on la lisse et on y applique avec précaution le mesureur de consistance. La consistance de la pâte est considérée comme normale quand la tige s'arrête à une hauteur de 0,006 *m* au-dessus du fond de la boîte.

c) Les conditions de prise seront étudiées au moyen d'une aiguille normale de 300 *g* à section circulaire de 0,001 m^2, et de la même boîte que ci-dessus.

On mélange 400 *g* du produit (comme il a été dit en *b*) avec la quantité d'eau nécessaire pour former une pâte que l'on travaille pendant trois ou une minute, selon que la prise est lente ou rapide, et avec laquelle on remplit exactement la boîte.

Le commencement de durcissement se produit quand l'aiguille ne peut plus traverser complètement le gâteau. Pour les produits à prise rapide ce moment peut aussi être déterminé au moyen du thermomètre.

Pour apprécier le temps de prise, on retourne la boîte ; tout mortier hydraulique peut être considéré comme pris lorsque l'aiguille normale n'y laisse plus aucune empreinte. Le temps

nécessaire pour que ce résultat soit atteint s'appelle temps de prise.

Le commencement du durcissement différencie les produits hydrauliques à prise rapide des produits à prise lente.

d) Comme épreuve préliminaire pour la détermination du temps de prise, on peut faire l'épreuve de la galette. On mélange 100 *g* du ciment à essayer avec l'eau nécessaire pour former une pâte de consistance normale travaillée pendant trois ou une minute, suivant qu'il s'agit de produits lents ou rapides, et on forme, sur une plaque de verre, une galette de 2 *cm* environ d'épaisseur. Cette galette est considérée comme prise dès qu'elle résiste à une légère pression de l'ongle.

e) Remarque. — Il est désirable qu'en dehors des essais faits avec la consistance normale, d'autres essais soient pratiqués avec des quantités d'eau plus grandes.

Épreuves de résistance.

a. — Pour tous les produits hydrauliques, sauf la pouzzolane.

a) Les épreuves doivent être faites avec un mélange de une partie en poids du produit avec trois parties de sable. Il est à souhaiter pourtant que des essais soient faits aussi avec des dosages de sable plus élevés.

b) Le sable employé doit être le sable normal constitué, autant que possible, de sable quartzeux pur dont la grosseur des grains aura été réglée au moyen de trois tamis de 64, 144 et 235 *m* par centimètre carré, de telle sorte qu'il se compose, pour la moitié, de son poids de sable à grains ayant passé dans le premier tamis, mais arrêtés sur le deuxième, et, pour l'autre moitié, du poids de sable ayant passé à travers le deuxième tamis et arrêté par le troisième (nous verrons bientôt que la Conférence de Berlin a modifié la composition du sable normal).

d) Le poids du sable normal sera déterminé, à l'état tamisé, au moyen du litre normal.

f) La véritable épreuve de dureté est l'épreuve à la compression; elle est pratiquée sur des cubes de 50 cm^2 de section.

g) L'épreuve ordinaire de qualité (épreuve de contrôle pour les marchandises à livrer) est l'épreuve à la traction effectuée au moyen de l'appareil normal allemand, par les éprouvettes de la forme normale allemande avec 5 cm^2 de section de rupture.

h) La détermination de la consistance du mortier normal et la recherche d'un dispositif mécanique convenable pour les échantillons sont renvoyés à la commission (actuellement on se sert soit de la spatule, soit d'un pilon pour tasser le mortier dans les moules ; dans ce dernier cas, on donne 150 coups d'un pilon pesant 3 *kg* et tombant d'une hauteur de 0,50 *m*).

i) Six échantillons de chaque sorte sont nécessaires pour apprécier la résistance à la traction et à la compression. La moyenne arithmétique des quatre chiffres les plus élevés peut être considérée comme convenable.

k) Tous les échantillons doivent être conservés pendant les vingt-quatre premières heures dans une atmosphère saturée de vapeur d'eau et le reste du temps, jusqu'au moment précis de l'essai, sous l'eau à la température de 15-18° C; l'eau est renouvelée toutes les semaines.

l) L'épreuve à vingt-huit jours doit, pour tous les produits, être considérée comme concluante.

On peut obtenir une appréciation plus rapide pour le Portland en déterminant la résistance du mélange 1 pour 3 après sept jours.

Les essais des chaux et des ciments sont actuellement exécutés d'après les prescriptions que nous venons d'exposer, en Allemagne, en Suisse, en Autriche, en Russie, en Suède, en Norvège et en Hollande. En France, on suit à peu près les mêmes règles avec les différences suivantes :

On ne tient pas compte du poids spécifique des produits hydrauliques, et on doit le regretter vivement, car c'est un moyen excellent pour déceler les falsifications et pour classer les produits.

On n'attache pas à la finesse de mouture une très grande importance ; les essais se font avec les tamis de 324, 900 et 4 900^{m} par centimètre carré, mais uniquement à titre de renseignement ; il n'y a pas de finesse de mouture imposée aux fabricants. Le cahier des charges de M Guillain, par exemple, ne contient aucune prescription à cet égard ; on admet que les résistances pour le mortier 1 : 3 sont assez élevées pour que le fabricant soit tenu de livrer des produits d'une grande finesse.

L'essai de la prise se fait exactement de la même manière qu'en Allemagne ; mais, pour amener la pâte de ciment à la consistance normale, la méthode employée est différente. M. Guillain a rédigé sur ce sujet des instructions très minutieuses qui permettent de

préparer toujours des pâtes de même consistance. Ces instructions sont beaucoup plus précises que celles adoptées par les conférences de Dresde et de Munich.

Pratiquement, on arrive avec les deux méthodes à des résultats à peu près semblables.

Il est à remarquer que dans les décisions des conférences de Dresde et de Munich on indique bien comment il faut opérer pour déterminer la prise, mais on ne dit pas quel est le temps de prise qui caractérise les produits à prise rapide et les produits à prise lente. Il est d'usage, en Allemagne et en Suisse, de considérer comme ciment à prise rapide celui dont la prise commence dans les quinze minutes qui suivent le gâchage ; le ciment à prise lente est celui qui commence sa prise après soixante minutes. Les ciments à prise moyenne se rangent entre ces deux limites.

En France, il n'existe d'indication bien nette, au sujet de la prise à l'eau douce, que pour les chaux hydrauliques et les ciments à prise rapide, du genre Vassy ; pour les ciments Portland, on n'en trouve aucune. Dans le cahier des charges de M. Guillain, qui ne prévoit que les essais à l'eau de mer, les limites imposées pour la prise sont de trente minutes pour le commencement de prise et de trois heures pour la fin de prise.

Les épreuves de résistance se font, en France, d'une façon à peu près exclusive, à la traction ; les essais à la compression ne sont prescrits dans aucun cahier des charges ; on ne les pratique que dans quelques laboratoires à titre d'expériences et de recherches spéciales. Les épreuves à la traction s'exécutent avec les mêmes appareils et des éprouvettes de même forme qu'en Allemagne. On expérimente le ciment ou la chaux gâché pur et le mortier 1 : 3.

On trouvera encore dans le cahier des charges de M. Guillain, auquel il faut toujours revenir quand on traite cette question d'essais des ciments, la description de la manière dont doivent être préparées les éprouvettes.

Voici quelles sont les résistances exigées pour le mortier 1 : 3, au bout de 28 jours, en Allemagne, en Suisse, en Autriche :

Chaux hydraulique légère. . .	6,0 *kg* à la traction		30,0 *kg* à la compression.	
Chaux hydraulique lourde . .	8,0	—	60,0	—
Ciment romain	10,0	—	80,0	—

Ciment Portland à prise prompte	14,0 *kg*	à la traction	130,0 *kg*	à la compression.
Ciment Portland à prise lente	16,0	—	160,0	—
Ciment de laitier	16,0	—	140,0	—

Le cahier des charges de M. Guillain impose les résistances suivantes à la traction pour le ciment Portland :

1° Ciment pur	7 jours	20 *kg*	par centimètre carré.
	28 —	35	— —
	84 —	45	— —
2° Mortier 1 : 3	7 jours	8 *kg*	par centimètre carré.
	28 —	15	— —
	84 —	18	— —

De plus, la résistance du ciment pur à 28 jours doit dépasser de 5 *kg* au moins la résistance à 7 jours, à moins qu'elle n'ait atteint 55 *kg* par centimètre carré; à 84 jours, la résistance doit encore être plus grande que la résistance à 28 jours, si celle-ci était inférieure à 55 *kg*. Pour le mortier 1 : 3 la résistance à 28 jours doit dépasser de 2 *kg* la résistance à 7 jours, et la résistance à 84 jours doit toujours dépasser la résistance à 28 jours.

Ces conditions sont donc beaucoup plus rigoureuses que celles usitées en Allemagne et dans les autres pays. Il faut ajouter qu'elles ont été prescrites en vue de fournitures pour des travaux à la mer qui présentent une importance exceptionnelle. Une grande partie des prescriptions du cahier des charges français vient d'être adoptée en Russie pour les travaux maritimes.

Conférence de Berlin. — Extraits du procès-verbal de la deuxième séance le 20 septembre 1890. — Sur le point 10. — Rapporteur : M. Gartner. Détermination plus précise de la façon dont le poids d'un volume d'un liant hydraulique et d'un sable doit être examiné :

1° Par tamisage;

2° Par tassage (obtenu en secouant) dans une capacité cylindrique, ou litre normal, de 0,10 *m* de hauteur.

Il est décidé que pour la détermination du poids du volume trois méthodes peuvent être employées.

Le tamisage doit être fait mécaniquement, à l'aide de l'appareil Tetmajer.

Le tassage doit être exécuté également avec l'appareil Tetmajer.

Le remplissage à la main, pour lequel on utilise l'appareil à entonnoir et le litre normal.

A la suite de la conférence faite par M. le professeur Debray, il est décidé de renvoyer à la commission permanente les recherches ultérieures à faire sur l'action de l'eau de mer sur les mortiers hydrauliques.

Relativement à la fondation d'un organe, la conférence reconnait l'utilité et l'importance de cette fondation, et laisse au Président de la commission permanente le soin de faire les démarches nécessaires ; aucune obligation pécuniaire ne doit en résulter pour les membres.

Je passe le point **11** qui a trait aux essais sur le trass et qui ne présente pas beaucoup d'intérêt pour nous, le trass étant très peu employé en France, et j'arrive au point **12**

Recherches des méthodes convenables pour déterminer rapidement l'invariabilité de volume du ciment Portland à l'air et des autres produits hydrauliques, notamment examen et appréciation de l'épreuve de cuisson et de l'influence des bains chauds. Rapporteur: M. Tetmajer.

La question est renvoyée à la commission permanente avec le souhait que les fabricants de ciment prennent part aux travaux en grand nombre.

Le Président résume le résultat de la discussion engagée sur ce point en déclarant que l'union des fabricants de ciment est prête à participer à ces travaux à l'avenir et qu'elle ne serait pas absolument opposée à la modification des formes actuelles d'essais, mais que des raisons concluantes en soi, appuyées par la preuve de procédés meilleurs, doivent être présentées avant qu'il ne soit question de changements de cette nature.

Sur le point **13**. — Recherche sur la possibilité de remplacer les tamis à fils par des tamis constitués par des tôles percées et détermination du diamètre des trous à pratiquer dans les tamis de ce genre pour répondre aux grosseurs de fils données à la page **43** du mémoire pour les tamis à sable (conférence de Dresde et de Munich). Rapporteur: M. le docteur Michaëlis.

. La conférence est d'avis que la tôle perforée est nettement préférable aux tamis à fils. L'emploi de tamis en tôle perforée de trous ronds est décidé et la détermination de la grandeur des trous, de

leur disposition et de l'épaisseur de la tôle est renvoyée à la commission permanente. Cette détermination devra être faite de manière que les tamis en tôle fournissent un sable qui donne la même résistance que le sable normal obtenu actuellement avec les tamis à fils.

Sur le point 14. — Détermination d'un sable uniforme non seulement quant à la grosseur des grains, mais aussi quant au poids et aux autres propriétés entrant en considération. Rapporteur : M. Gartner.

La conférence décide que le sable de Freienwalde doit être adopté comme sable normal dans le sens étroit du mot, c'est-à-dire comme le sable auquel doivent se rapporter toutes les comparaisons. Ce sable doit être pris après tamisage sur des tôles perforées dans un état tel qu'il tienne le milieu entre les deux sables obtenus l'un à travers des tamis de 60 et 120 mailles, l'autre à travers des tamis de 64 et 144 mailles.

Les pays autres que la Prusse auront à se préoccuper de se procurer un sable normal, en s'efforçant de le choisir de telle sorte qu'il ait une action semblable à celle du sable de Freienwalde à l'égard des résultats de résistance obtenus.

Dans le cas où cela ne serait pas possible, la commission permanente devra recueillir les renseignements nécessaires pour l'établissement de coefficients de comparaison convenables.

Les points 15, 16 et 17 :

15. — Détermination de la consistance de mortier normale et recherche d'un mode convenable mécanique de production des éprouvettes d'essai, notamment des conditions pour réaliser une compacité égale des éprouvettes pour essais à la traction et à la compression.

16. — Examen et appréciation des épreuves de résistance du ciment Portland pur gâché à la consistance normale sur un support non absorbant, ainsi que de l'essai avec sable normal après trois jours; présentation de propositions sur la manière dont on peut juger, dans un court laps de temps des qualités des autres produits hydrauliques.

17. — Examen et appréciation des propositions contenues à la page 46 du *Mémoire des Conférences de Munich et de Dresde*, pour la détermination de la force d'adhésion des liants hydrauliques.

Sont renvoyés à la commission permanente pour nouvelle étude.

Il est décidé ensuite que la prochaine conférence se réunira en septembre 1892 à Vienne. La commission permanente actuelle est

maintenue ainsi que son président, avec faculté de s'adjoindre d'autres collaborateurs.

Je vous demanderai la permission d'entrer dans quelques détails au sujet des points les plus importants du compte rendu de la deuxième séance.

Je constate tout d'abord la très grande attention avec laquelle on a écouté la conférence de M. Debray; il parlait, en effet, d'essais qui étaient tout nouveaux pour la plupart des auditeurs. Les recherches exécutées à l'École des Ponts et Chaussées sous la direction de MM. Durand-Claye et Debray sont des plus intéressantes; je dois me borner à indiquer seulement ici la détermination de la dilatation des pâtes de ciment pur et des mortiers dans l'eau douce et dans l'eau de mer artificielle, les expériences exécutées en vue de se rendre compte des décompositions produites par le passage à travers des mortiers à différents dosages d'eau contenant en dissolution du sulfate de magnésie, expériences destinées à donner des indications au sujet de l'emploi des mortiers à la mer, la détermination du coefficient de dilatation des chaux et des ciments. Le laboratoire de l'École des Ponts et Chaussées a contribué également, pour une large part, à faire voir les dangers des ciments magnésiens et à mettre en lumière le rôle de la magnésie dans ces ciments.

La question des mortiers employés à la mer, qui avait été négligée par les conférences précédentes, sera donc, grâce à M. Debray, l'objet de discussions qui ne pourront pas manquer de présenter un vif intérêt et auxquelles, étant donnés les nombreux travaux que nous possédons sur ce sujet, nous sommes assurés de pouvoir prendre une part prépondérante.

J'arrive maintenant au point 10 du procès-verbal : Détermination du poids du volume des produits hydrauliques et des sables. L'appareil Tetmajer, avec lequel doivent se faire les essais, se compose d'un plateau animé d'un mouvement rapide de va-et-vient; sur ce plateau est fixé un tamis; au-dessous se trouve le litre normal, qui peut être laissé en repos, ou secoué à l'aide d'un dispositif actionné par la manivelle qui fait mouvoir le tamis; dans le premier cas on obtient le minimum de tassement, et, dans le second cas, le tassement à refus.

La détermination de la densité des produits hydrauliques n'a qu'une importance relative; elle ne peut donner de renseignements que si l'on constate en même temps la finesse de mouture; elle permet de reconnaître, jusqu'à un certain point, si le produit

n'a pas été additionné de matières étrangères; mais elle ne renseigne en aucune façon sur la cuisson plus ou moins parfaite du ciment.

Point 12. — La question de l'invariabilité de volume des chaux et des ciments étant une de celles qui présentent le plus d'importance et qui est à la fois la plus controversée, je m'y arrêterai un peu plus longuement.

Un des plus graves défauts que puisse présenter un produit hydraulique est d'augmenter de volume un certain temps après qu'il a fait prise et lorsqu'il est déjà employé. Ce gonflement est dû d'une façon à peu près exclusive à la présence dans l'agglomérant d'un certaine quantité de chaux non combinée qui ne s'éteint qu'avec une extrême lenteur; cette extinction est accompagnée d'un foisonnement plus ou moins considérable. La chaux non combinée peut exister dans les chaux hydrauliques qui n'ont pas été complètement éteintes, et dans les ciments quand le dosage en chaux est exagéré. L'intérêt qu'il y a à se mettre en garde contre la présence de la chaux libre s'explique par ce fait que 1 à 2 0/0 de chaux non combinée dans un ciment suffisent pour amener sa désagrégation dans certaines conditions. Des constructions dans lesquelles il existe des mortiers faits avec des chaux ou des ciments contenant de la chaux libre peuvent être, des semaines et même des mois après leur exécution, complètement détruites par suite de la poussée du mortier. Ce fait arrive rarement, à la vérité, et les effets de la chaux libre ne se manifestent pas toujours avec une intensité aussi grande ; le plus souvent la destruction du mortier reste superficielle. Dans tous les cas l'excès de chaux est toujours à redouter et on ne saurait prendre trop de précautions pour l'éviter ou déceler sa présence.

Jusqu'à présent le seul essai destiné à faire apprécier l'invariabilité de volume des produits hydrauliques consiste à maintenir dans l'eau, à la température ordinaire, pendant vingt-huit jours, une galette du produit gâché pur; si, au bout de ce temps, la galette est restée parfaitement intacte, si elle ne présente aucune déformation ni fente radiale, on admet que le produit essayé possède un volume invariable.

M. Tetmajer a présenté à la conférence de Berlin un rapport très complet, contenant des détails extrêmement intéressants sur les moyens de reconnaître, par un procédé rapide, l'invariabilité de volume des produits hydrauliques. Il a soumis un nombre considérable d'échantillons à divers genres d'expériences et les

résultats ont été examinés soigneusement. Voici quels étaient les essais exécutés simultanément sur chaque échantillon. Dans tous les cas l'expérience se faisait sur des galettes du produit gâché pur :

1° Épreuve sous l'eau à la température ordinaire.

2° Épreuve au four. Dans cette épreuve les galettes sont placées dans une étuve dont la température est amenée progressivement jusqu'à 120° ; la durée de l'épreuve est de trois à six heures ; dans tous les cas la galette doit rester au moins une demi-heure dans l'étuve, à la température de 120°, après que le dégagement de la vapeur d'eau a cessé.

3° Épreuve à la chaleur rouge. L'agglomérant est moulé en forme de boule de 0,04 de diamètre environ ; cette boule est placée sur la flamme d'un bec de Bunsen ; on chauffe d'abord doucement, puis plus fort jusqu'à ce que la partie en contact avec la flamme soit portée au rouge.

4° Épreuve de cuisson. Les galettes ou les boules sont plongées, vingt-quatre heures après leur confection, dans de l'eau à la température ordinaire, puis l'eau est chauffée de manière qu'elle entre en ébullition au bout d'une heure environ ; on maintient l'eau en ébullition pendant cinq à six heures.

5° Épreuve des galettes à l'air. Les galettes sont laissées constamment à l'air, à la température ordinaire, dans l'intérieur du laboratoire.

De l'examen des effets produits par ces diverses épreuves il résulte, d'après M. Tetmajer, que des ciments ou des chaux, qui résistent très bien dans l'eau à la température ordinaire, peuvent être détruits complètement après un séjour de quelques semaines ou de quelques années à l'air. L'épreuve ordinaire sous l'eau est donc absolument insuffisante.

Parmi les épreuves rapides pour juger de l'invariabilité de volume, celle qui donne les meilleures indications est l'épreuve à l'eau chaude. Les ciments et les chaux qui se comportent mal à l'air ne supportent pas l'épreuve à l'eau chaude. M. Tetmajer admet que tous les ciments qui ne résistent pas à l'épreuve de l'eau chaude contiennent de la chaux libre. Pour le démontrer il a mélangé à des ciments de bonne qualité des quantités de plus en plus grandes de ciment demi-cuit et de ciment incuit. L'addition à un ciment de bonne qualité de 10 0/0 de ciment demi-cuit ou de 5 0/0 de ciment incuit suffit pour qu'il ne supporte plus d'une façon irréprochable l'épreuve à l'eau chaude.

Pour les chaux hydrauliques et les ciments romains M. Tetmajer fait voir que les essais à l'eau bouillante, et même à la température de 75°, ne sont nullement concluants ; l'eau doit être maintenue à 50°, si l'on veut obtenir des indications utiles.

Les conclusions de M. Tetmajer sont peut-être un peu rigoureuses en ce qui concerne les ciments Portland. Les ciments qui contiennent de la chaux non combinée ne sont pas les seuls qui supportent mal l'essai à l'eau chaude; les ciments dont la composition est normale et qui ont été bien préparés, mais qui n'ont pas été cuits jusqu'à complète vitrification, ne résistent pas non plus à l'eau chaude. En pratique, ces ciments ne présentent nullement les mêmes inconvénients que les ciments à excès de chaux; ils donnent même, quand ils sont conservés à l'air, des résistances remarquables, ce qui est précisément le contraire de ce qui se produit avec les ciments à excès de chaux. L'essai à l'eau chaude les ferait cependant condamner.

Voici sur quel fait on peut s'appuyer pour faire voir que les ciments imparfaitement cuits, ce que M. Tetmajer appelle les ciments demi-cuits, ne contiennent pas de chaux libre ou, tout au moins, n'en renferment que des quantités insignifiantes, à condition, bien entendu, que la préparation et le dosage des matières premières aient été très soignés.

Si on mélange à un ciment de bonne qualité 2 0/0 de chaux surcuite non hydratée, et que l'on fasse avec ce ciment une galette, qui, après la prise, est immergée dans l'eau de mer, on remarque au bout de quelques jours que la galette se recouvre de nombreuses fissures ; quelquefois même elle se désagrège complètement; une galette faite avec le même mélange mais maintenue dans l'eau douce se conserve sans altération. Cette différence provient de ce que l'extinction de la chaux surcuite se produit beaucoup plus rapidement dans l'eau de mer que dans l'eau douce. Une solution contenant quelques grammes par litre de chlorure de calcium possède la même propriété de provoquer l'extinction rapide de la chaux surcuite. Les ciments demi-cuits restent parfaitement intacts dans l'eau de mer ou dans la solution faible de chlorure de calcium. On est donc fondé à croire que la proportion de chaux libre qu'ils peuvent renfermer est, dans tous les cas, inférieure à 2 0/0.

Il en serait tout autrement si le ciment était mal préparé et si, tout en ayant un dosage convenable, on avait apporté peu de soins au mélange des matières premières. On aurait alors un

produit composé de grains trop argileux et de grains trop calcaires. Dans ce cas, la combinaison des divers éléments ne peut se produire que si toute la masse est portée à une température suffisante pour déterminer un commencement de fusion. C'est probablement des ciments de cette nature que M. Tetmajer a essayés. Il trouve, en effet, que, en mélangeant du ciment demi-cuit et incuit avec du ciment de bonne qualité, non seulement les galettes immergées dans l'eau chaude se sont désagrégées, mais même celles qui étaient restées à l'air libre ont éprouvé des altérations très prononcées. Or, nous avons mélangé avec du ciment de première qualité jusqu'à 40 0/0 d'incuit; les galettes faites avec ce mélange se conservent parfaitement à l'air et dans l'eau de mer.

L'essai à l'eau chaude, tel qu'il est proposé par M. Tetmajer, nous paraît donc d'une application difficile, car il fait bien voir si un ciment est absolument bon, mais il ne montre pas s'il est certainement mauvais et d'un emploi dangereux.

On pourrait cependant l'utiliser dans le cas d'emploi du ciment pour les travaux à la mer, car, par suite de considérations qu'il serait trop long d'exposer, il est possible que des ciments imparfaitement cuits ne présentent pas une sécurité suffisante pour ce genre de travaux.

Quand il s'agit d'employer le ciment dans les travaux à l'air ou à l'eau douce, on pourrait peut-être substituer à l'eau chaude une solution faible de chlorure de calcium qui ne laisse aucun doute sur la présence ou l'absence de la chaux libre.

Enfin, l'essai à l'eau chaude, tel que l'a proposé M. le Chatelier est encore très rationnel et il donne des indications exactes. Il consiste à maintenir dans de l'eau à 80° des briquettes de mortier 1 : 3. On casse ces briquettes au bout de deux et sept jours. Ce mode d'opérer présente encore l'avantage de donner un renseignement sur la résistance du ciment. Les bons ciments donnent, en général, après sept jours dans l'eau à 80°, une résistance à peu près égale à celle qu'ils possèdent après vingt-huit jours dans l'eau à la température ordinaire. Nous nous sommes assurés par une série d'essais assez considérable que des ciments contenant 2 0/0 de chaux libre ne supportaient pas cette épreuve; les ciments demi-cuits y résistent bien ainsi que les mélanges de bon ciment avec 10, 20 et jusqu'à 30 0/0 de ciment incuit.

Il ne me reste plus que quelques mots à dire au sujet du sable normal. Cette question a été l'objet de très longues discussions à la conférence de Berlin. Les uns voulaient qu'il n'y eût qu'un sable

unique pour tous les pays, et que ce sable fût celui de Berlin ; d'autres faisaient observer avec raison que le sable normal reviendrait, dans beaucoup d'endroits, à un prix extrêmement élevé. On a fini par admettre que chaque pays aurait son sable normal et qu'on établirait des comparaisons avec le sable de Berlin. On est revenu, pour obtenir un sable de grosseur uniforme, à employer les tamis de 64 et 144 mailles. En France, on fait les essais avec le sable normal depuis 1886 ; mais tandis que dans les autres pays on se sert de sable normal naturel, on a adopté un sable artificiel provenant du broyage des quartzites de Cherbourg ; on emploie pour le tamisage des tamis de 64 et 144 mailles. On a renoncé dans quelques stations d'essais à l'étranger au sable normal artificiel parce qu'il donne des résistances, dans les essais à la compression, un peu inférieures à celles que procure le sable naturel.

Tels sont, Messieurs, résumés peut-être un peu trop longuement, les travaux des conférences de Munich, de Dresde et de Berlin, au point de vue des essais des chaux et des ciments. J'ai tenu à montrer, par l'état de cette question en France, que nous ne sommes pas trop en retard et que nous pouvons, dans les conférences à venir, prendre utilement part aux discussions et contribuer à les rendre fertiles en résultats. Vous avez vu que déjà M. Debray a indiqué à la commission permanente un nouveau champ de recherches.

En ce qui concerne les essais des métaux, la participation des Ingénieurs français aux travaux de la commission peut avoir une influence non moins importante. Je souhaite donc vivement, comme je le faisais en commençant, que les représentants de la Société des Ingénieurs civils soient nombreux à Vienne en 1892, et qu'ils contribuent, en continuant ainsi les traditions de la Société, à la réalisation d'une œuvre qui est destinée à rendre de réels services à l'industrie.

LES HABITATIONS OUVRIÈRES

A

L'EXPOSITION DE 1889

PAR

M. E. CACHEUX

Vous avez bien voulu me charger de faire un rapport sur les habitations économiques exposées en 1889; j'ai accepté cette tâche, comptant sur votre indulgence et sur le concours que vous me donnerez pour démontrer l'utilité qu'il y a pour un ingénieur d'intervenir dans l'établissement des constructions modernes. Au début, on ne lui demandait guère que de calculer les dimensions de quelques fers à plancher; aujourd'hui, on a recours à lui pour le chauffage, la ventilation, l'éclairage, l'évacuation des eaux ménagères, la fourniture des eaux potables; en un mot, pour tout ce qui concerne le confort et la salubrité d'une maison moderne.

J'ai essayé de résumer les progrès qui ont été réalisés dans l'éclairage, le chauffage et l'assainissement des maisons; mais j'ai été obligé de renoncer à ce travail, et je ne vous parlerai que de leurs applications à la maison d'ouvrier.

Le nombre des matériaux employés dans les constructions n'a pas beaucoup varié depuis 1878; mais, grâce à leur emploi judicieux, à l'exclusion de toute ornementation, l'ingénieur arrive à établir industriellement des bâtiments à des prix de revient bien moins élevés que les architectes. Dans la grande industrie, ce sont le plus souvent les ingénieurs qui construisent les bâtiments dont on a besoin. Pour faciliter leur tâche, j'ai réuni dans un ouvrage, intitulé *l'Économiste pratique*, les documents nécessaires pour construire des crèches, des écoles maternelles, des groupes sco-

laires, des réchauffoirs, des restaurants économiques, des bains et lavoirs, des cercles populaires, des dispensaires, des hôpitaux, des hospices, des postes de secours, etc.

En ce qui concerne les constructions exécutées, nous pouvons citer celles de notre collègue, M. Paul Dubos, qui a construit des maisons à toute hauteur dans des conditions extraordinaires de bon marché, et nous ne croyons pas qu'on puisse faire mieux que lui. Les plans de ses habitations étaient exposés classe 63.

Dans l'enceinte de l'Exposition, on remarqua des spécimens de grandeur d'exécution de plusieurs bâtiments économiques construits par des ingénieurs. Notre honorable collègue, M. S. Périssé, a construit un hôpital démontable; M. de Schryver a fait un théâtre incombustible, en formant ses parois avec des plaques de tôle estampées; M. Poitrineau a établi des maisons en bois qui lui ont valu une médaille d'or.

Les ingénieurs recherchent avant tout l'économie et la solidité; on peut leur reprocher de donner un cachet trop uniforme aux maisons. Ce reproche est fondé, surtout quand ils ont beaucoup de maisons du même type à construire et qu'ils les placent les unes à côté des autres; mais nous n'en tiendrons pas compte; nous excuserons même la contiguïté des habitations, car ce système de groupement permet de réaliser des économies trop importantes dans le prix de revient d'un logement pour qu'on ne l'emploie pas. Nous ne blâmerons l'économie apportée dans les constructions que lorsqu'elle aura pour effet d'empêcher la lumière solaire d'entrer dans toutes les parties de la maison, ou l'emploi de matériaux de mauvaise qualité. Je n'ai pas besoin d'insister sur la qualité des matériaux susceptibles d'être utilisés; j'insisterai un peu plus sur les moyens à prendre pour permettre au soleil de purifier l'atmosphère des appartements, car là où il n'entre pas, c'est la maladie qui pénètre, dit un vieux proverbe.

Dans plusieurs remarquables conférences, notre ancien Président, M. Trélat, nous a décrit les inconvénients des rues trop étroites et des cours trop resserrées; il nous a dit qu'il serait désirable de voir démolir les maisons trop hautes et de raser par voie d'expropriation les étages de celles qui sont trop élevées.

Bien des personnes s'imaginent que la ville de Paris devient de plus en plus salubre, grâce au percement des grandes voies qu'on y exécute depuis quelques années. Nous ne sommes pas de cet avis, car, plus les rues deviennent larges, plus le terrain est utilisé et plus les cours deviennent étroites. Il en résulte que, mal-

gré les sommes considérables dépensées en embellissements, la mortalité des Parisiens ne diminue pas : elle est de 15 0/00 dans les quartiers habités par les classes aisées, mais elle atteint encore 36 0/00 dans divers arrondissements, et la mortalité moyenne est encore de 24 0/00.

J'ai essayé de suivre une autre méthode que celle qui est préconisée par M. Trélat, pour désencombrer les habitations sises à l'intérieur de Paris. J'ai pensé qu'on pourrait attirer l'ouvrier dans les quartiers excentriques de cette ville et dans ses environs, en y construisant des petites maisons pour une famille. J'ai loti à cet effet près de 100 000 *m* de terrain et construit une centaine de maisons que j'ai vendues moyennant le paiement d'une annuité. Divers propriétaires ont suivi mon exemple, et je crois qu'il ne reste plus guère à Paris de terrains livrés à la grande culture, comme il y en avait quand j'ai commencé mes opérations.

Il résulte de mes expériences qu'il est possible d'implanter en France des Sociétés analogues aux *Building Societies* qui fonctionnent avec tant de succès en Angleterre et en Amérique, où elles ont procuré aux travailleurs d'une part des petits logements confortables, et, d'autre part, le moyen de placer leurs économies à un taux supérieur à celui que dessert la Caisse d'épargne.

J'ai donné dans l'*Économiste pratique* les plans d'exécution des types que j'ai créés, ainsi que tous les détails nécessaires pour fonder une Société.

La Société française des Habitations à bon marché, fondée à la suite de l'exposition d'Économie sociale qui eut lieu en 1889, fournit gratuitement tous les renseignements relatifs à la construction d'une petite maison. On peut voir, du reste, dans le musée d'Économie sociale, presque tous les plans des habitations à bon marché qui ont figuré à l'Exposition de 1889. J'ai essayé de condenser à votre intention les documents relatifs aux petits logements qui ont été exposés en 1889; mais, malgré toute ma bonne volonté, je n'ai pu réduire suffisamment mon travail pour pouvoir le lire ici; c'est pourquoi j'en ai fait l'objet d'une publication spéciale, qui pourra être consultée dans notre bibliothèque; puis, après avoir exposé quelles sont, à mon avis, les conditions principales que doivent remplir les habitations pour travailleurs, je décrirai ce qui a été fait pour les propager.

Les habitations ouvrières se divisent en deux catégories : celles qui sont destinées aux ouvriers célibataires et celles qui sont affectées à l'usage des gens mariés.

Habitations ouvrières pour célibataires. — Les habitations ouvrières pour célibataires sont rarement des constructions spéciales, car, en général, les ouvriers de cette catégorie sont logés, soit chez leurs patrons, soit dans des familles, soit quelquefois dans des logements loués spécialement à cet effet.

Les ouvriers logés chez les patrons le sont souvent dans des conditions défectueuses.

Dans l'ouvrage de MM. Muller et Cacheux, on lit qu'en Autriche, un ouvrier se cassa une jambe en tombant d'un lit placé tellement près du plafond qu'il le touchait quand il se dressait sur son séant. Ce fait nous explique pourquoi, en Allemagne et en Autriche, les inspecteurs du travail visitent les logements des ouvriers dans leurs tournées.

Dans les campagnes, les domestiques sont en général mal logés; malheureusement, nous n'avons, pour apprécier l'influence de l'habitation sur leur vie, qu'une statistique anglaise qui indique que la vie moyenne des fermiers est de dix ans supérieure à celle de leurs valets.

Le séjour des célibataires dans les familles peut constituer une source de recettes pour le ménage; mais il peut amener de déplorables résultats au point de vue moral.

Les personnes qui louent des locaux pour y loger les ouvriers sont ordinairement de vieilles femmes qui remplacent la mère des compagnons. Elles préparent la soupe de leurs locataires, elles raccommodent leurs effets et leur rendent mille petits services moyennant un prix peu élevé.

Les constructions spéciales pour loger les ouvriers célibataires prennent en général le nom d'*hôtels pour ouvriers*. Souvent ces constructions sont provisoires et on peut employer avec avantage le système Poitrinneau, le système Pombla ou divers autres analogues.

En Russie, les ouvriers sont souvent logés gratuitement, par contre les locaux mis à leur disposition sont déplorables. On cite des cas où un lit sert à deux hommes employés l'un le jour, l'autre la nuit. Il faut dire que l'ouvrier russe ne quitte pas ses vêtements.

En France, l'ouvrier est en général logé dans de meilleures conditions. Nous avons donné dans l'*Économiste pratique* les plans de l'hôtel modèle pour ouvriers, construit par le gouvernement français en 1852, ainsi que ceux des hôtels construits à Ougrée et à Micheroux, en Belgique.

L'hôtel Louise à Micheroux mérite une mention spéciale, car

nous n'en connaissons pas qui soit mieux aménagé. L'ouvrier, après avoir quitté la mine, prend un bain, quand il en sort il trouve à la place de ses vêtements salis par le travail, un habillement propre. Aussitôt vêtu il se dirige soit au café, soit à la bibliothèque pour attendre l'heure du repas ou celle du coucher. Nous n'avons qu'un reproche à faire à cette institution, c'est qu'elle reçoit des hommes mariés. Les familles de ces derniers habitent en général une ville située à une certaine distance de l'hôtel pour y trouver à bas prix les choses nécessaires à la vie ; il en résulte que le père ne voit sa femme et ses enfants qu'un jour par semaine.

L'établissement du Thillot, dirigé par notre collègue M. Marteau a construit un hôtel pour loger et entretenir à bon compte les ouvriers alsaciens qui se fixent en France.

Logements pour ouvriers mariés.

Les logements pour ouvriers mariés deviennent de plus en plus confortables. En Suède néanmoins, on cite comme modèles des logements composés d'une seule pièce et d'une cuisine. Nous ne croyons pas qu'une famille composée de plus de quatre personnes puisse trouver dans un logement de ce genre le confort et la salubrité que des travailleurs sont en droit d'exiger dans un pays où ils sont forcés de passer dans leur habitation une grande partie de leur existence.

Voici, d'après M. E. Muller, la composition d'un logement et les dimensions des pièces qu'il faudrait donner à un logement d'ouvrier dans une ville :

Une salle de réunion de $4 \times 4{,}00 = 16\ m^2$, ci	16 m^2
Deux chambres à coucher de $3 \times 4 = 12 \times 2$	24
Une cuisine de $2 \times 3 = 6$	6
Escaliers divers.	4
TOTAL. . . .	50 m^2

Dans les campagnes, d'après M. Carl Romstorfer, qui s'est beaucoup occupé d'habitations ouvrières agricoles, il faut donner de plus grandes dimensions à la cuisine et en faire une salle à manger. Il convient également d'adjoindre au logement des dépendances pour y loger des animaux domestiques tels que porcs, vaches, chèvres, etc. Nous avons constaté avec plaisir que beaucoup de propriétaires mettaient aujourd'hui des logements d'une grandeur suffisante à la disposition des ouvriers.

Ce logement peut être soit dans une maison, soit constituer une maison isolée.

On a longtemps discuté la question de savoir s'il fallait loger l'ouvrier dans une maison à étages ou dans une maison pour une famille. Il y a des partisans pour chacun des deux systèmes et il ne faut pas s'en étonner, car dans les classes ouvrières on trouve comme dans celles qui sont plus fortunées des amateurs de maisons à étages.

M. Godin n'a jamais voulu admettre le système des petites maisons pour loger son personnel ; il a construit le superbe familistère dont on a pu voir une magnifique maquette au pavillon de la coopération, tandis que M. Pullmann a adopté les maisons pour une famille quand il a construit la ville qui porte son nom.

Le prix du terrain n'est pas un obstacle à la construction de maisons pour une famille.

M. Picot prétend qu'il faut du terrain ne coûtant pas plus de 5 *f* le mètre pour faire des maisons pour une famille.

La Société de Passy-Auteuil et notre collègue M. Faure, à Clermont-Ferrand, etc., ont démontré qu'on pouvait établir des maisons pour une famille sur du terrain dont le prix variait entre 25 et 30 *f*.

Le montant des charges constitue un obstacle plus difficile à vaincre que le prix du terrain ; ainsi à Paris, le locataire d'un petit logement de moins de 500 *f* n'a presque rien à payer en sus de son loyer, tandis que le petit propriétaire d'une maison représentant 300 *f* de loyer paie jusqu'à 120 *f* décomposés comme suit :

Impôt, balayage	40 *f* »
Eau	28 »
Vidange	40 »
Divers	12 »
TOTAL. . .	120 *f* »

En résumé, le grand nombre des habitations ouvrières exposées démontre que le problème qui consiste à loger convenablement l'ouvrier a été résolu de diverses manières ; nous allons donc étudier ce qui a été fait d'une façon plus ou moins heureuse dans ce sens par l'État, les municipalités, les corps constitués, les sociétés, les particuliers, etc.

Action des souverains. — D'après une brochure remise par M. le colonel Keyper au congrès des Habitations à bon marché, dès le

XVIe siècle, Christian IV construisit des maisons pour les marins danois.

Dans l'ouvrage *les Habitations ouvrières en tous pays*, on trouve les plans des maisons construites par l'empereur Napoléon III avenue Daumesnil; le roi des Belges a souscrit des actions de la Société de Liège. Le roi d'Espagne Alphonse XII a construit cinq maisons à un étage à Madrid : il les a données à la Société des Habitations ouvrières de cette ville. Le prince Albert a exposé, en 1852, des habitations ouvrières modèles qu'il fit construire à ses frais.

Action des États. — L'État peut agir au triple point de vue législatif, moral et pécuniaire.

L'étude de son action constitue un chapitre entier des ouvrages que j'ai l'honneur de présenter à la Société : les *Habitations ouvrières* et l'*Économiste pratique*. Le gouvernement anglais et le gouvernement belge ont fait faire des enquêtes sérieuses sur l'état des petits logements et ils ont publié les résultats acquis.

Au point de vue pécuniaire, l'État belge a agi en améliorant les maisons de ses employés de chemin de fer, et l'État anglais a avancé, à un taux peu élevé, de l'argent aux Sociétés qui livraient aux travailleurs des petits logements à prix réduits.

Action des Municipalités. — Les villes agissent d'une manière identique à celle des États. Les municipalités font des règlements pour augmenter le plus possible la salubrité d'une cité, elles font des enquêtes sur l'état des habitations, elles établissent des tables de mortalité pour se rendre compte de l'insalubrité des quartiers. Une cité modèle sous ce rapport est la ville de Reims, ainsi qu'on a pu en juger en lisant l'intéressant mémoire exposé par M. Irénée Lelièvre, le dévoué président de l'Union Foncière de cette ville.

Les autorités municipales n'arrivent pas à l'aide de règlements à déterminer des locataires à habiter en *bon père de famille* les logements qu'elles parviennent à assainir; c'est pourquoi, dans bien des cas, nous avons vu employer les finances des villes à l'amélioration des petits logements, soit en suivant l'exemple donné à Liège, où la municipalité a pris des actions de la Société des habitations ouvrières de cette ville, soit en garantissant un intérêt de 5 0/0 aux actionnaires, comme à Lille (disons en passant que cette garantie a été purement morale), soit en fournissant de l'eau et du gaz, soit en exemptant des redevances municipales,

vidanges, etc., les propriétaires d'habitations ouvrières convenables.

Caisses d'épargne. — Dans les pays du Nord, en Allemagne, en Italie, en Amérique, les Caisses d'épargne emploient une partie des dépôts qui leur sont confiés, soit à l'achat d'obligations foncières, soit en prêts hypothécaires. En France, on est allé plus loin. Dès 1882, la Caisse d'épargne de Strasbourg construisit des maisons pour ouvriers. A Lyon, MM. Mangini, Aynard et Gillet ont établi des petits logements qu'ils louaient sur le taux de 4 0/0 l'an; pour en augmenter le nombre, ils ont fondé une Société au capital d'un million et la Caisse d'épargne a souscrit la moitié des actions émises. L'argent prêté provient des bénéfices faits par la Caisse d'épargne. A Marseille, grâce à M. E. Rostand, le Conseil municipal a également autorisé la Caisse d'épargne : 1° à employer une somme de 160 000 *f* pour construire des immeubles salubres et économiques; 2° à prêter 20 000 *f* à une Société philanthropique ayant pour but de loger convenablement des ouvriers; l'annonce de cet avantage détermina la formation d'une Société au capital de 500 000 *f;* 3° à avancer une somme de 60 000 *f*, par fractions de 6 000 à 7 000 *f*, à des ouvriers laborieux désireux de construire eux-mêmes, sous le contrôle et la surveillance de la Caisse d'épargne, au point de vue de l'hygiène, de la moralité et de la solidité du travail.

Action des bureaux de bienfaisance. — En Belgique, on admet que l'argent affecté à la construction de logements salubres diminue considérablement les dépenses de l'assistance publique; c'est pourquoi divers bureaux de bienfaisance ont construit des maisons d'ouvriers.

Le bureau de bienfaisance d'Anvers a construit tout un quartier dont il loue les maisons.

Le bureau de bienfaisance de Nivelles a bâti une vingtaine de maisons que les ouvriers ont pu acquérir en plaçant leurs économies à la Caisse d'épargne, qui capitalisa les intérêts de façon à leur procurer une somme suffisante pour pouvoir devenir propriétaires sans avoir plus à payer qu'un loyer ordinaire.

Le bureau de bienfaisance de la ville d'Anvers, dont M. Durlet est l'architecte, a exposé les plans des groupes qu'il a élevés. Le nombre des maisons dépasse trois cents; elles sont louées de façon à faire rapporter un intérêt rémunérateur au capital employé.

Les bureaux de bienfaisance des villes de Wavre et de Mons

ont également construit chacun une cinquantaine de maisons. Le bureau de bienfaisance de Wavre vend les siennes moyennant une annuité qui ne dépasse pas la valeur d'un loyer ordinaire; il replace l'argent provenant de la vente, de façon à reconstituer le capital. Le bureau ne retire pas plus de 3 0/0 de ses fonds, il peut faire facilement cette opération. Le bureau de bienfaisance loue ses maisons à raison de 11 et 13 *f* le mois; il diminue le loyer de 1 *f* lorsque les locataires paient régulièrement à l'échéance.

La construction de maisons ouvrières est une chose aléatoire; de plus, leur administration est difficile. Par suite, nous ne croyons pas qu'il faille trop encourager les bureaux de bienfaisance à devenir propriétaires; il vaut mieux, à notre avis, qu'une institution qui dépense les deniers publics se borne à encourager l'industrie privée en souscrivant des obligations émises par des Sociétés qui ont à leur tête des hommes capables et d'une honorabilité notoire. Il est bien évident que nous approuverons toujours une opération qui aura pour objet de démontrer les avantages d'une habitation construite suivant les lois de la morale et les règles de l'hygiène et qui se bornera à édifier des spécimens de logements modèles, ou qui remédiera à une situation causée par une crise passagère en consacrant une somme déterminée à l'assainissement des petits logements

Action des Compagnies de chemins de fer. — Les Compagnies de chemins de fer contribuent à encombrer les habitations ouvrières : 1° par le nombre d'ouvriers qu'elles occupent dans les villes, et 2° par la démolition des immeubles nécessitée pour la pénétration de leurs voies; c'est pourquoi les Compagnies s'intéressent beaucoup à l'amélioration des petits logements.

La Compagnie du Nord a exposé le plan de la cité du Bourget.

Celle de l'Est, la cité de Romilly, composée de cent maisons.

La Compagnie de l'Ouest a exposé les plans d'un chauffoir où ses mécaniciens qui effectuent de grands voyages ont la faculté de se restaurer, de se reposer pendant une nuit et de disposer d'une salle de bains.

La Compagnie d'Orléans contribue à la réforme du logement en prêtant de l'argent au taux de 3 0/0 l'an à une Société de construction.

Action des industriels. — Les industriels sont les plus intéressés à la construction d'habitations ouvrières. En Allemagne, les municipalités n'accordent l'autorisation d'établir une usine dans leur

ressort que lorsque le propriétaire prend l'engagement de construire assez de logements pour empêcher les pernicieux effets de l'encombrement. Lorsque l'usine est isolée, les industriels sont obligés de prendre des mesures pour loger les ouvriers; ils construisent souvent des maisons provisoires.

Lorsque l'usine doit durer pendant un certain temps, l'industriel emploie divers procédés pour diminuer les dépenses relatives au logement et fixer l'ouvrier.

Le procédé le plus simple et le plus coûteux consiste à construire des maisons, à les mettre à la disposition de l'ouvrier soit gratuitement, soit moyennant un faible loyer.

Depuis 1765, la Compagnie des Cristalleries de Baccarat loge gratuitement la moitié de son personnel.

En 1819, M. de Gorge, directeur du Grand Hornu, loua des maisons avec jardin à son personnel. M. Decauville diminue le loyer de ses ouvriers à la naissance de chaque enfant et il les loge gratuitement lorsqu'ils ont passé un certain temps chez lui. Il en est de même chez MM. Thiriez, à Loos, près Lille.

En 1835, Malcomson, manufacturier anglais, vendit des maisons par annuités à ses ouvriers. Ce procédé fut suivi, car il permet de fixer l'ouvrier près de l'usine, mais il a l'inconvénient d'introduire souvent dans les cités des individus qui sont des éléments de désordre et qu'on ne peut renvoyer. D'un autre côté, un ouvrier propriétaire peut s'établir pour son compte, et comme, en général, l'industriel fait des sacrifices pour loger ses ouvriers, il n'en retire aucun avantage quand la maison construite par lui est habitée par une personne étrangère à son établissement. C'est pourquoi M. Dolge loue 150 *f* des maisons qu'il vend 7 000 *f*.

Les Compagnies de Blanzy et d'Anzin louent leurs maisons de façon à faire retirer 2 0/0 au capital engagé, et comme le montant des charges s'élève à la moitié de cette somme, elles perdent chaque année plus de 200 000 *f* pour loger convenablement leurs ouvriers.

La Compagnie du Creusot a été plus habile; elle a fait des avances d'argent aux ouvriers et elle leur a donné la facilité de se libérer. Jusqu'à ce jour, le nombre des avances faites a été de 2 391.

Le montant de ces avances s'est élevé à .	3 292 671	*f*
Celui des remboursements à	3 065 467	»
Par conséquent, on ne lui doit plus que .	227 203	»

M. Lederlin de Taon suit la même méthode; il donne des con-

seils à ses ouvriers qui veulent construire, il leur fournit même des plans. Pour ne pas immobiliser trop de ses capitaux, il fait prêter aux ouvriers, qui deviennent propriétaires, des fonds provenant des réserves de la Société de secours mutuels établie par ses employés.

La Compagnie de la Vieille-Montagne a des usines dans diverses contrées ; elle a exposé une maison d'un de ses ouvriers agricoles auquel elle fournit à bas prix un champ pour lui permettre d'utiliser ses moments perdus.

La Compagnie s'est également arrangée avec des propriétaires pour mettre des ouvriers en pension chez eux ; dans d'autres cas, elle a garanti à des spéculateurs le loyer des ouvriers qu'ils s'engagent à loger.

D'autres industriels cèdent du terrain à leurs ouvriers ; ils leur vendent à prix coûtant des matériaux de construction.

Les industriels construisent des maisons pour une ou plusieurs familles ; néanmoins ces dernières sont rares, il n'y a guère que MM. Géliot et fils à Plainfaing, la Société du *Thillot*, M. Godin de Guise, qui aient exposé des plans de maisons à étages.

Les maisons pour une famille sont nombreuses ; elles sont, soit isolées comme celles de MM. Japy à Beaucourt, soit groupées par deux comme celles de M. Menier à Noisiel, Solvay à Dombasles ; soit groupées par quatre suivant le système de Mulhouse, soit en ligne comme les chorons du Nord.

Nous avons reproduit dans notre ouvrage et dans notre rapport de 1878 les plans des divers types suivant lesquels ont été construites les maisons qui ont été exposées ; par suite, nous ne nous arrêterons pas plus longtemps sur la description de leur groupement.

En résumé, ce sont les industriels qui ont établi les maisons à petits logements les plus confortables. Nous avons déjà cité le familistère de Guise où l'habitant trouve à bas prix toutes les choses nécessaires à la vie.

M. *Pullmann* a construit la ville qui porte son nom, en s'attachant à donner à chaque habitant la jouissance d'une maison entière. La tâche de la ménagère est facilitée le plus possible. Les ordures sont jetées par un conduit dans un récipient que l'administration fait vider tous les jours. Les eaux ménagères et les vidanges sont écoulées à l'aide d'une canalisation spéciale dans des réservoirs d'où on les extrait pour les répandre sur les terres

d'une ferme. Les eaux pluviales sont envoyées dans le lac Michigan.

M. *Dolge* trouve le moyen d'éclairer ses locataires au moyen de l'électricité produite à l'aide d'une force motrice hydraulique.

En Belgique, M. de *Nœyer* à Willebroeck fournit à ses ouvriers des logements très confortables moyennant un prix très minime. M. de Nœyer obtient ses maisons à très bon compte en fabriquant lui-même les briques qui entrent dans les constructions et en utilisant son personnel pour faire les plans et conduire les travaux. Il vend ses maisons par annuités dont la valeur est moindre que celle du loyer d'une maison équivalente, car il ne retire que 3 0/0 du capital affecté à la construction des habitations ainsi vendues.

M. *Fanien*, à Lillers, Nord, en construisant lui-même et en appliquant à la construction ses aptitudes d'industriel émérite, arrive également à établir pour *2 000 f* des maisons contenant cinq pièces. Bien entendu, les privés sont primitifs et la canalisation des eaux ménagères est rudimentaire.

MM. *Solvay et C*^{ie} ont construit à Dombasles une très belle cité ouvrière pour loger leurs employés et leurs ouvriers. L'eau potable provient de la Meurthe. On la puise après lui avoir fait traverser un filtre formé par un espace de terrain sablonneux d'une cinquantaine de mètres de largeur. Les eaux ménagères sont canalisées à l'aide d'un égout. L'eau potable est fournie en général par les industriels. Souvent ils mettent à la disposition de leurs ouvriers du gaz et ils leur procurent à prix réduits le combustible nécessaire aux besoins du ménage.

Action des particuliers. — Le duc de Galliera a fait construire des immeubles valant deux millions pour y loger des personnes momentanément incapables de payer leur loyer. Les bienfaits qui résultent de cette fondation sont limités, car bien des gens abusent de la générosité des personnes qui ne surveillent pas assez l'emploi de leurs dons.

M. Peabody a consacré *12 000 000 f* à la construction d'immeubles qui sont loués sur le pied de 3 0/0 de revenu net. Le produit est employé à construire de nouvelles habitations. Les locataires de ses immeubles sont au nombre de 25 000.

M. Faure, à Clermont, a également commencé la construction d'une cité.

M^{me} la marquise de Salisbury a consacré une partie de ses

économies à la construction de maisons pour loger les ouvriers de son mari. Chaque maison, construite suivant le système Lascelles dont j'ai donné la description dans les *Habitations ouvrières*, revient à 3 000 *f.*

M. Dessaignes a fait une cité agricole dans le but de retenir les ouvriers à la campagne. Malheureusement les personnes disposées à suivre l'exemple donné par M. Peabody sont assez rares, et comme j'ai pu le constater, la construction des petites maisons ne constitue pas une affaire assez lucrative pour engager les particuliers à en établir; c'est pourquoi il faudra peu compter sur l'action des particuliers pour améliorer l'état des petits logements, tant que leur exploitation ne constituera pas une affaire rémunératrice.

En Angleterre, les pasteurs sont chargés de la distribution des aumônes de leurs ouailles, plusieurs d'entre eux ont employé ainsi des sommes importantes à l'effet de remplacer des maisons insalubres par un nombre égal d'habitations saines et commodes.

Action des Sociétés. — Les Sociétés peuvent avoir pour objet la bienfaisance, la philanthropie ou la spéculation. La bienfaisance doit être éclairée surtout en matière de loyer, c'est pourquoi nous approuvons fort les sociétés de dames qui paient le loyer des personnes honnêtes qui sont momentanément incapables de remplir leurs engagements. Plusieurs Sociétés, analogues à la Société des loyers de Strasbourg, recueillent des petites sommes destinées à payer le loyer qu'on a l'habitude de demander, à Paris, chaque trimestre, et pour stimuler le zèle des déposants elles leur distribuent des primes plus ou moins importantes.

The Society for improving the dwellings of the labouring classes vend, à prix réduit, des plans d'habitations ouvrières modèles.

La Société organise souvent des concours à l'effet d'obtenir soit des types d'habitations ouvrières perfectionnées, en tenant compte de la ventilation. de l'évacuation des eaux ménagères, etc.

La Société The Mansion House Council organise des congrès tous les ans dans le but d'arriver à améliorer les habitations des quartiers que ses inspecteurs jugent malsains.

L'Association Philanthropique Parisienne a établi, grâce à la campagne entreprise par M. G. Picot, la construction de maisons suivant le système de Peabody. Elle a construit jusqu'ici un groupe de maisons rue Jeanne-d'Arc et un autre rue de Grenelle. Nous ne les citerons pas comme modèles au point de vue de la

distribution ; par contre elles sont irréprochables sous le rapport de la solidité. La Société loue ses maisons de façon à retirer 4 0/0 net de son capital. Le produit net sera employé à faire de nouvelles constructions, c'est ce qui distingue l'œuvre de la Société Philanthropique de celle de la Société des Cités Ouvrières de Mulhouse. Dans cette Société, comme dans celles du Havre, de Bolbec, de Passy-Auteuil, les immeubles sont loués ou vendus de façon à retirer 4 0/0, au maximum, des capitaux engagés, mais le produit net est distribué aux actionnaires. Une autre Société, très originale, fondée au capital de 30 000 *f*, construit des immeubles pour loger les ouvriers de la Compagnie d'Orléans. Cette Société est philanthropique, elle loue ses logements de façon à retirer 4 0/0 net des capitaux qu'elle affecte à la construction d'immeubles et qui lui sont fournis, au taux de 3 0/0 l'an, par la Compagnie des Chemins de fer d'Orléans.

Dans ces Sociétés, les administrateurs ne sont pas rémunérés. La même méthode peut être suivie dans les genres de Sociétés que nous allons passer en revue. Ces genres sont divers et assez nombreux : car les Sociétés peuvent vendre du terrain aux ouvriers, construire des maisons et les vendre par annuités, prêter de l'argent pour construire, émettre des obligations pour mobiliser des créances à longue échéance et s'occuper de plusieurs de ces opérations. La vente de terrain avec facilités de paiement constitue l'opération la plus facile et la plus lucrative.

C'est ainsi que MM. Naud et C^ie^ ont créé la commune de Billancourt et qu'un grand nombre de propriétés des environs de Paris ont été morcelées. La Société des Habitations ouvrières d'Amiens a fait l'acquisition d'une grande propriété qui séparait la ville d'un de ses faubourgs, elle a construit quelques maisons pour attirer des habitants, elle a vendu le terrain avec assez de bénéfices pour bâtir une église et une école ménagère.

La Société Coopérative des Ouvriers de Paris construit des maisons et elle les loue. Elle a créé la villa des Rigoles, sur un terrain profond et étroit. En façade sur la rue, elle a construit des maisons à étages ; dans le fond, le long d'un passage, elle a établi des pavillons qu'elle a vendus par annuités. Grâce au dévouement des administrateurs, la Société marche bien.

La Société Coopérative Immobilière de Reims a réussi à implanter en France le système des *Building Societies* anglaises, dont j'ai décrit le fonctionnement dans l'*Économiste pratique* et dans les *Habitations ouvrières en tous pays*.

Elle accepte des dépôts, pour lesquels elle desservit, au début, un intérêt de 5 0/0, et elle en prête le montant aux personnes qui veulent construire elles-mêmes. Nous sommes très heureux de signaler le succès de cette Société, présidée avec tant de dévouement par M. Irénée Lelièvre.

La Société Coopérative d'Orléans, fondée par deux ouvriers intelligents, a eu également beaucoup de succès.

Les administrateurs ne sont pas rémunérés, ils sont entrepreneurs et construisent eux-mêmes les maisons qu'ils vendent à prix réduits aux acquéreurs. Pendant un certain temps les affaires de la Société furent très prospères, grâce à la rareté des logements convenables, mais depuis que trois cents maisons nouvelles ont été mises à la disposition des habitants d'Orléans, la crise des loyers a disparu, il y a eu des vacances et de mauvais payeurs, et il s'est produit un arrêt dans les opérations de la Société.

Aménagement des maisons et dispositions particulières relatives au chauffage, à la ventilation. — Les maisons construites, grandeur naturelle, ont été meublées comme elles le sont en réalité, de façon qu'on pût se rendre compte de la manière de vivre de leurs habitants; par suite, la Commission n'a pas cru devoir donner suite à la proposition que je lui avais faite d'organiser un concours entre fabricants de mobiliers, comme cela se fait en Belgique, à l'effet de rechercher quels sont les mobiliers qui répondent le mieux aux qualités qu'on apprécie dans les petits ménages, savoir : la solidité et l'économie.

Chauffage, cuisson des aliments. — En Allemagne, on se sert beaucoup dc poëles en faïence, qui permettent de chauffer les chambres avec la chaleur perdue provenant de la cuisson des aliments. On arrive à ce résultat en faisant circuler les gaz chauds, produits par la combustion, dans une série de chicanes avant de les laisser se perdre dans l'atmosphère. En été, il suffit de fermer l'entrée des chicanes à l'aide d'un registre pour envoyer les gaz chauds directement dans la cheminée.

Dans les maisons exposées, on avait installé des poëles devant les cheminées. Les tuyaux sont aplatis et ils peuvent être utilisés pour y placer les ustensiles servant à la cuisson des aliments.

A Paris, on place dans les cheminées des petits fourneaux en fonte. On dispose des bouches de chaleur. M. Delaroche a, sur ma demande, construit un appareil de ce genre, et il donne d'as-

sez bons résultats. Dans la maison construite à Paris, rue Jean-Robert, par la Société coopérative du dix-huitième arrondissement, on se sert de fourneaux de cuisine dont on peut voir le feu de la salle à manger. En hiver, on chauffe la salle à manger en cuisant les aliments. En été, on isole le feu au moyen d'un registre.

Dans les maisons de la Société philanthropique, que M. Picot cite comme des modèles, on se contente de placer le fourneau de cuisine dans un renfoncement de la salle à manger. On évite ainsi l'emploi de deux lumières et de deux feux.

En Angleterre, on emploie beaucoup d'appareils pour ventiler les petits logements. On se sert, à cet effet, de mitrons de diverses sortes et on fait communiquer l'intérieur des chambres avec l'extérieur au moyen de plaques percées de trous, de briques creuses, etc.

A Christiania, dans les maisons modèles, j'ai remarqué une conduite de ventilation placée à côté du tuyau de cheminée d'une section quatre fois supérieure à celle de ce dernier, destinée à évacuer l'air vicié. Cette disposition est assurément excellente dans les pays où l'on passe une grande partie de sa vie dans les logements.

Eau. — On trouva à l'Exposition la description de tous les systèmes employés pour fournir l'eau : fontaines artificielles, citernes, puits instantanés, puits artésiens.

Le plus grand obstacle qui s'oppose à l'emploi de l'eau provient de la dépense relative à sa canalisation.

Beaucoup de petites communes ont compris l'importance de la distribution d'une eau salubre à leurs habitants, et elles se sont syndiquées pour obtenir le capital nécessaire à cet effet. Quelques communes donnent de l'eau aux petits ménages moyennant une faible redevance. Plusieurs de mos collègues sont arrivés à créer des sociétés qui rendent de très grands services en fournissant de l'eau à des communes.

Dans une cité d'Avignon, on se sert de puits instantanés. Dans quelques cas, on emploie avec succès des puits artésiens.

Évacuation des eaux ménagères. — Dans les campagnes, les eaux ménagères sont en général écoulées sur la voie publique. Chez M. Menier on les envoie dans les fosses à ordures qui dépendent des maisons.

Les matières grasses s'attachent aux résidus et produisent un excellent engrais, l'eau purifiée s'écoule dans le sol.

Dans quelques endroits on emploie des puisards. Cette pratique est vicieuse, surtout lorsque les habitants se servent des eaux de puits situés dans les environs.

La canalisation des eaux ménagères est du reste à l'ordre du jour, et elle est étroitement liée à l'évacuation des vidanges.

Un bel exemple d'évacuation est fourni par la Société de Passy-Auteuil.

Vidange. — Les procédés de vidange sont connus. Nous avons vu fort peu de privés à terre sèche et à cendres analogues à ceux dont j'ai donné les dessins dans l'*Économiste pratique.*

MM. Menier frères emploient à Noisiel le système Goux; ce procédé a l'avantage d'être très économique, car il permet d'utiliser les détritus provenant du cacao pour garnir les parois des tinettes d'une matière qui convient admirablement pour absorber les liquides et enlever l'odeur des vidanges.

Un système à recommander est l'envoi du tout à l'égout employé dans les habitations ouvrières de la Société de Passy-Auteuil. La Société a obtenu de la municipalité de payer une redevance de 30 *f* par tuyau desservant un passage, ce qui fait revenir le droit à 3 *f* par maison habitée par un ménage. Malheureusement, l'autorisation donnée est une simple tolérance, et l'administration n'a jamais voulu m'accorder la même faveur pour mes petites maisons. J'ai des habitations que je loue 300 *f*, et pour les doter du tout à l'égout il eût fallu payer l'établissement de la canalisation, le branchement d'égout particulier, le droit d'écoulement à l'égout de 30 *f*, la fourniture d'eau nécessaire pour assurer le fonctionnement du système, ce qui eût fait revenir la vidange à près de 80 *f*. A l'Exposition, MM. Doulton et Cie ont placé dans les maisons Fanien et d'Anzin des appareils du tout à l'égout, et M. Delafon a fait sur ma demande un dessin représentant l'application du tout à l'égout aux maisons ouvrières construites en grandeur naturelle.

Ordures. — En Amérique, on brûle les ordures dans les foyers des cuisines. Dans plusieurs maisons à Rouen, à Paris, on dispose à chaque étage un tuyau qui permet d'envoyer les ordures dans un réduit situé au rez-de-chaussée dont il est facile de les extraire. Lorsqu'on jette les cendres dans des tuyaux de ce genre, il se produit des inconvénients quand le récipient n'est pas situé au sous-sol dans un endroit bien fermé.

En résumé, la question des petites habitations laisse encore un

vaste champ d'études à explorer pour mettre à la disposition des travailleurs des logements salubres, commodes et économiques. Les solutions des problèmes dont nous parlons sont très difficiles, car l'exploitation d'habitations convenables ne procure pas de bénéfices rémunérateurs et les constructeurs recherchent avant tout l'économie. Néanmoins, si on compare l'état actuel des habitations à ce qu'il était en 1846, époque à laquelle mon regretté maître, M. Muller, a commencé à s'occuper de leur réforme, on ne peut qu'applaudir aux résultats qui ont été obtenus et espérer que les nombreux élèves qu'il a formés continueront à propager son œuvre, comme plusieurs l'ont déjà fait, ainsi qu'on a pu le voir par les documents exposés dans l'enceinte de l'Exposition de 1889 et notamment dans la section d'Économie sociale.

NOUVEAU CHEMIN DE FER ÉLECTRIQUE

Système J.-J. HEILMANN

La question des trains à grande vitesse, devenue, a l'heure actuelle, d'une importance capitale, a beaucoup préoccupé dans ces dernières années l'esprit des Ingénieurs de chemins de fer. Pourtant, c'est à peine si les travaux entrepris en vue d'améliorer les conditions de marche des express ont abouti à des résultats qui constituent un progrès sensible. Il faut avouer que la question est hérissée de nombreuses difficultés, et que la locomotive semble avoir donné tous les résultats qu'on peut en attendre. En effet, chaque fois que l'on tente une amélioration au point de vue de la vitesse, on est amené à accroître la puissance ; et comme l'accouplement des essieux moteurs devient une nécessité, on est obligé d'accepter la rigidité qu'il entraîne. Aussi la machine à grande vitesse est-elle considérée à juste titre comme l'agent destructeur par excellence.

Depuis quelques années, l'industrie des transports s'est vue enrichie d'un nouveau mode de locomotion, basé sur l'emploi de la transmission de la force de l'électricité. Les véhicules sont munis de moteurs électriques, et le courant d'une dynamo actionnée par une machine à vapeur fixe leur est envoyé par des conducteurs aériens ou souterrains. Les avantages de ce système sont tellement nets, qu'il s'est developpé avec une rapidité prodigieuse. C'est surtout en Amérique qu'il a été appliqué, et le nombre des lignes de tramways ainsi exploitées s'élève actuellement à 250 environ. Toutefois, cette application n'est possible économiquement que sur des lignes de peu d'étendue; lorsque la distance à parcourir atteint, par exemple, 20 à 30 *km*, le capital engagé dans les câbles devient trop considérable pour qu'on puisse songer à l'adopter.

Cette expérience de quelques années a permis aux Ingénieurs américains d'apprécier la valeur de ce nouveau mode de traction, et d'après eux, le moment est venu d'ouvrir une campagne contre la locomotive, la substitution de la traction électrique aux systèmes actuels n'étant plus qu'une affaire de temps et d'argent.

Cette conclusion est peut-être un peu hardie; quoi qu'il en soit, la traction électrique possède des avantages que personne ne saurait nier. L'un des principaux est la douceur de roulement, qui s'explique sans difficulté si l'on réfléchit à la constance de l'effort moteur et à l'absence du mouvement alternatif, qui produit tous les mouvements parasites dans une locomotive ordinaire. La fig. 1, Pl. 31, représente, d'après les diagrammes relevés par la Compagnie des chemins de fer royaux hollandais, la variation de l'effort à la circonférence d'une roue de locomotive, pendant l'intervalle d'un tour. La courbe en traits pleins se rapporte à une locomotive ordinaire; celle en pointillé, à une machine compound fonctionnant à double entrée. Toutes deux sont relatives à l'admission 25 0/0. La courbe représentative de l'effort d'une dynamo serait un cercle presque parfait, et la douceur de roulement est telle, que les véhicules électriques pourraient probablement circuler à des vitesses de 140 ou 150 *km* à l'heure.

En outre, le moteur électrique se place avec facilité sous un véhicule quelconque; il est léger et peu encombrant. Lorsque la vitesse devient assez grande (à partir de 50 *km* à l'heure, par exemple), l'induit peut être calé directement sur l'essieu. Si un même véhicule possède plusieurs essieux moteurs, ces essieux restent parfaitement libres de toute liaison mécanique, de sorte que le véhicule passe en courbes avec la plus grande facilité.

Ainsi qu'on le voit, tous les avantages proviennent du moteur électrique en lui-même; quant au transport de la force à distance, il a pour effet d'alléger le train du poids des machines motrices ; mais d'autre part la canalisation est la source de tous les ennuis, et l'économie qui résulte de la diminution de poids mort est, à partir d'une certaine distance, compensée par l'intérêt du capital engagé dans les câbles.

Il faut réfléchir en outre aux difficultés de toute sorte qui s'opposeraient à la transformation d'un réseau ordinaire en réseau électrique. D'autre part, la création de lignes exploitées électriquement ne saurait faire une concurrence bien redoutable aux lignes ordinaires, pour les raisons que nous exposions tout à l'heure. Toutes ces considérations nous avaient fait penser qu'un

système mixte, ayant les avantages de la traction électrique, mais pouvant circuler sur les lignes ordinaires sans modification, serait de nature à réaliser un progrès sérieux et, dans certains cas, à se substituer à la traction par locomotive.

Voici donc le système que nous proposons:

Toutes les voitures seraient automotrices, chacune d'elles étant actionnée par un ou plusieurs moteurs électriques, qui recevraient le courant d'une génératrice montée, avec le moteur qui l'actionne, sur un véhicule faisant partie du train et remplaçant la locomotive ordinaire.

On est amené ainsi à augmenter le poids du train de tout le poids du matériel électrique; en outre, on perd dans la transformation une partie de la puissance de la machine à vapeur; de sorte qu'au premier examen, il semble que le train électrique soit d'une infériorité notable: il n'en est rien cependant, et cela à cause des conditions de roulement plus favorables dans lesquelles le nouveau train se trouve placé.

Pour établir une comparaison, nous supposerons qu'on ait constitué deux trains rapides, formés de la façon suivante:

Train ordinaire :

1 Locomotive et tender.	55 *t*
3 Voitures à bogies de 27 *t*.	81
1 Fourgon	14
TOTAL	150 *t*

Train électrique :

Véhicule de tête.	50 *t*
Fourgon-tender.	30
3 Voitures à bogies de 30 *t*.	90
TOTAL	170 *t*

Ces deux trains offrent le même nombre de places. Les voitures électriques sont plus lourdes que les voitures du train ordinaire, par suite de l'adjonction des moteurs. Quant au poids de 50 *t* admis pour le véhicule de tête, nous le justifierons plus loin.

Les expériences entreprises par divers expérimentateurs, en vue de déterminer la résistance des trains, ont toujours conduit a ce résultat que la locomotive possède une résistance propre beaucoup plus élevée que celle des véhicules ordinaires.

Les récentes expériences faites par M. Desdouits aux chemins

de fer de l'État ont établi, d'une façon plus précise qu'on ne l'avait fait jusqu'ici, le rôle des divers éléments qui influent sur la résistance totale d'un train. Ces expériences ont d'ailleurs porté sur du matériel moderne, en bon état d'entretien, et ont, pour cette raison, fourni des chiffres généralement inférieurs à ceux qu'on admettait auparavant.

En ce qui touche la locomotive, elles ont montré que cette machine absorbe quelquefois à elle seule la moitié de sa puissance totale. L'accroissement rapide de résistance avec la vitesse tient principalement à l'action de l'air sur la face de front. Ainsi, la résistance par tonne de machine et tender n'est que d'environ 3,3 *kg* au départ ; à la vitesse de 80 *km*, elle atteint 12 *kg*.

La résistance des voitures ordinaires varie de 1,3 *kg* à 5,5 *kg* par tonne, entre 0 et 80 *km* à l'heure ; entre les mêmes limites, celle du matériel à bogies varie de 1,3 *kg* à 4 *kg*. Ce matériel offre donc un avantage sensible aux grandes vitesses. De plus, il passe en courbes avec plus de facilité et roule d'autant plus doucement que la vitesse est plus grande. Toutes ces raisons nous conduisent à l'adopter de préférence au matériel ordinaire, et malgré la légère augmentation de poids mort qu'il présente ordinairement sur ce dernier, augmentation qui, dans les voitures actuelles, est due, en grande partie, à la disposition intérieure.

Les expériences entreprises aux chemins de fer de l'État ont, en outre, montré tout l'avantage que l'on peut retirer des locomotives munies de plans inclinés à l'avant. Des machines garnies d'une proue, formée de deux plans à 45°, ont réalisé une économie moyenne de 10 0/0, par suite de la diminution de la résistance de l'air. Si donc l'on se propose d'augmenter les vitesses, il y a lieu d'entrer résolument dans cette voie, et de donner à l'avant du véhicule de tête une forme aussi effilée que possible. Le nombre d'expériences relatives à l'influence de la forme des surfaces sur la pression qu'y exerce un gaz en mouvement est encore très limité. Dans l'eau on arrive, pour l'ensemble d'un bateau, à réduire l'action du fluide (pression et contre-pression) à 0,16 de ce qu'elle serait sur une surface plane. Dans l'air, les conditions sont un peu différentes. On peut néanmoins admettre, par analogie et comme première approximation, que, pour l'avant seulement, la pression sera réduite à 0,20 de sa valeur habituelle, étant donné surtout que, dans une locomotive ordinaire, la pression du fluide s'exerce non seulement sur les surfaces directement exposées à l'air (boite à fumée, cheminée, abri du mécanicien, etc.), mais

encore sur les surfaces successives des dômes, boîte à sable, pièces du tender, etc., qui sont à une assez grande distance l'une de l'autre et ne se masquent pas d'une façon complète. Dans notre machine, l'ensemble sera enfermé dans une enveloppe lisse, dont l'avant sera muni d'une proue analogue à celle d'un bateau.

Ce premier véhicule sera lui-même monté sur bogies. La diminution de résistance du matériel à bogies, comparé au matériel ordinaire, aux grandes vitesses, provient surtout des moindres intervalles d'air laissés entre les véhicules. Il y aurait donc intérêt à fermer par des panneaux de raccordement les intervalles qui restent encore entre les véhicules. On peut estimer le bénéfice qui en résultera, en tenant compte de ce que le matériel ordinaire, qui présente des surfaces sensiblement doubles de celles du matériel à bogies, offre une différence de résistance de 1,5 *kg* avec ce dernier, à la vitesse de 80 *km*. Autrement dit, la suppression d'une surface exposée à l'air procure une diminution de résistance de 1,5 *kg* par tonne, soit, par voiture, $1{,}5 \times 27 = 40{,}5$ *kg*.

On doit donc s'attendre à ce que la suppression de quatre intervalles procure une diminution de résistance de $40{,}5 \times 4 = 162$ *kg*.

Le bénéfice ainsi réalisé compense l'action de l'air sur la face de front Pour estimer cette dernière, nous nous appuierons sur une expérience de M. Desdouits, expérience dans laquelle une locomotive masquée par une autre machine qui la précédait a éprouvé, à la vitesse de 60 *km*, une diminution de résistance de 275 *kg* (1). Si l'on porte ce chiffre dans la formule

$$R = Av^2$$

généralement admise pour représenter la résistance de l'air, on trouve que $A = 1$ pour la surface de front d'une machine, de sorte qu'aux diverses vitesses, l'excès de résistance d'un véhicule non masqué sur un véhicule masqué est donné par le tableau suivant:

VITESSES	PRESSIONS
35 *km*	69 *kg*
40	123
50	190
60	275
70	376
80	492
90	625

(1) Voir *Revue générale des Chemins de fer*, mai 1890.

100	767
110	930
120	1108
130	1303

chiffres que l'adoption de la forme effilée réduit à 0,2 de leur valeur.

A 80 *km*, l'excédent de pression sur le premier véhicule se réduit donc à 98 *kg*, de sorte qu'il est largement compensé par la présence des panneaux de raccordement. Nous négligerons néanmoins la différence, pour tenir compte des petites imperfections dans le raccordement, et aussi des surfaces planes qu'il est nécessaire de conserver à l'avant (les tampons, par exemple).

Nous avons porté sur la figure 2 les résistances comparées du train ordinaire et du train électrique ; les deux courbes inférieures se rapportent à la marche en palier, les courbes supérieures à la marche en rampe de 5 *mm*. Ainsi qu'on le voit, le train électrique possède une supériorité marquée sur le train ordinaire, et d'autant plus manifeste que la vitesse est plus grande. En rampe, l'avantage du train électrique est moindre, par la raison qu'il est un peu plus lourd. Les expériences de M. Desdouits s'arrêtent à la vitesse de 80 *km* à l'heure. Au delà de cette vitesse, nous avons prolongé les courbes d'après leur allure générale.

Au point de vue du travail absorbé, les différences sont moindres; la double transformation d'énergie s'effectue, en effet, avec une perte sensible. Le rendement industriel peut néanmoins atteindre 85 0/0. Nous compterons sur 80 0/0, rendement d'autant plus facile à obtenir que la perte en ligne se réduit à 1 ou 2 0/0. Ce rendement est variable avec la vitesse. Nous avons porté sur la figure 3, d'une part, le travail absorbé par le train ordinaire, d'autre part, le travail à fournir sur les essieux du train électrique ; enfin, le travail effectif développé par la machine à vapeur de ce dernier. L'excitation des réceptrices a été supposée séparée et constante, ce qui a pour effet d'exiger un travail à la vitesse zéro. Il est facile de voir que, au point de vue du travail effectif, le train électrique ne possède pas toujours l'avantage. Néanmoins, aux vitesses ordinaires, il le conserve au point de vue de la consommation de houille, parce qu'il est muni d'une machine à vapeur à triple expansion.

La locomotive, en effet, ne se comporte que rarement comme une machine économique. Bien que, dans certaines conditions,

elle ne dépense que 11 à 12 *kg* de vapeur par cheval-heure effectif, ce chiffre ne saurait être pris comme base, parce que ces conditions ne sont que rarement réalisées. M. Desdouits a en effet trouvé, pour une machine à voyageurs, et pour des vitesses comprises entre 40 et 80 *km*, que la consommation de vapeur par cheval croissait constamment avec la vitesse ; que le rendement le plus économique se trouvait au voisinage de l'admission 0,22 pour toutes les vitesses ; que, de plus, ce rendement diminue très vite lorsqu'on s'éloigne de cette admission dans un sens ou dans l'autre (et surtout lorsqu'elle diminue). Même à cette admission la plus favorable, la consommation de vapeur par cheval-heure est représentée aux diverses vitesses par la courbe de la figure 4, c'est-à-dire qu'elle peut atteindre jusqu'à 23 *kg*.

A la vitesse de 80 *km* en palier, en admettant que la machine à triple expansion dépense 9 *kg* de vapeur par cheval-heure, et la locomotive 15 *kg* seulement, l'économie réalisée est de 52 0/0. Nous croyons pouvoir compter, en faisant une large part pour l'imprévu, sur une économie *moyenne* de 15 0/0 de combustible. Nous considérons d'ailleurs que cette économie est peu importante en raison de celle qui sera réalisée sur l'entretien du matériel fixe.

Il faut remarquer que l'effort de traction d'une locomotive, pour une admission donnée, est lié intimement à la vitesse, cet effort commençant par croître légèrement, passant par un maximum à une vitesse moyenne, puis décroissant pour devenir nul à une vitesse critique où la machine ne peut que se traîner elle-même. Cette étroite solidarité entre l'effort et la vitesse n'existe pas dans notre système ; l'effort ne dépend que de l'intensité du courant et reste indépendant de la vitesse.

Le moteur électrique offre un avantage remarquable au moment du démarrage. La locomotive ordinaire doit démarrer à effort constant, ou à peu près, et le travail employé au démarrage est astreint à ne croître qu'avec la vitesse. Le moteur électrique peut sans danger supporter momentanément une intensité beaucoup plus grande que l'intensité normale, et fournir un effort proportionnel. Ainsi, à partir de la vitesse à laquelle les induits pourront sans danger supporter l'intensité correspondante, toute la puissance de la machine à vapeur pourra être dépensée dans les réceptrices.

Nous avons tracé, figure 5, les courbes qui représentent la répartition de la puissance totale de la machine à vapeur, aux diverses vitesses, partie en travail mécanique (courbe A), partie

en chaleur (courbe B). L'excitation a été supposée constante. On trouve facilement sur ces courbes la vitesse à partir de laquelle cette dépense totale peut effectivement avoir lieu. Il suffit, lorsque l'intensité maxima est connue, de chercher sur la courbe B la dépense en chaleur qui lui correspond. Par exemple, si l'intensité maxima ne peut dépasser le triple de l'intensité normale, elle correspondra à l'ordonnée e'', et le démarrage à pleine puissance se fera à partir de la vitesse de 15 *km*. Le rendement, très défectueux au début, croît rapidement avec la vitesse.

Le train, tel que nous l'avons décrit, réalise enfin un système à adhérence parfaite, par la raison que le poids total du train peut être utilisé pour l'adhérence. Par exemple, pour le train de 170 *t*, dont nous parlions ci-dessus, l'adhérence moyenne serait encore de 8 *t* 1/2, en supposant que la moitié seulement des essieux soient moteurs.

L'idée de rendre motrices toutes les roues d'un train semble appartenir à Séguin (1839). Elle a été reprise par Koller, puis par E. Flachat, qui en fit une application remarquable, dans un projet de chemin de fer pour la traversée des Alpes. Chaque voiture portait une machine à vapeur ; toutes les machines du train étaient alimentées par une forte chaudière placée en tête. Quelque ingénieux qu'il fût, ce projet n'était guère réalisable avec la vapeur. Outre la complication qui résultait de la présence d'un grand nombre de machines à vapeur, le fractionnement de la puissance au moyen de ces machines ne pouvait se faire qu'en consentant à une perte énorme. Il en est tout autrement lorsqu'on s'adresse à l'électricité ; le rendement que nous citions est atteint et dépassé dans les installations industrielles. Les moteurs électriques sont simples, n'exigent aucune surveillance, un entretien peu dispendieux, et n'offrent aucun des inconvénients de la machine à vapeur.

Il serait possible de construire sur le même principe des locomotives électriques destinées à remorquer des voitures ordinaires. Ces locomotives, montées sur bogies, auraient leurs six essieux moteurs, et profiteraient de leur poids total pour l'adhérence, ce qui est difficile à obtenir avec une machine ordinaire.

La répartition de l'énergie entre tous les moteurs doit se faire aussi également que possible, et cela malgré leur étroite solidarité au point de vue de la vitesse. Les figures 6 et 7 représentent schématiquement deux dispositions qui assurent une égale répartition de l'effort.

Dans le montage de la figure 6, les réceptrices R_1 R_2... R_{12} sont excitées séparément par une machine à potentiel constant E, pendant que la génératrice G alimente les induits des réceptrices, accouplés en tension. A est un ampèremètre, intercalé dans le circuit; F est un fil fusible ; *dd'* est une dérivation pour l'éclairage du train. La génératrice G et l'excitatrice E tournent à vitesse constante. Dans le circuit inducteur de la génératrice sont intercalés un rhéostat T et un commutateur C. Ces deux appareils suffisent pour toutes les manœuvres (mise en marche, arrêt, ralentissement, etc.). Le renversement de marche se fait par inversion du courant dans les induits, et cela par renversement de l'excitation de la génératrice, au moyen du commutateur C.

La disposition de la figure 7 diffère de la précédente en ce que les inducteurs de toutes les machines, y compris la génératrice, sont reliés en série et alimentés par une excitatrice E commandée par une machine à vapeur spéciale, à vitesse constante ; *r* est le rhéostat qui sert à la régulation de cette machine. Les manœuvres se font alors en agissant sur la vitesse de la machine à vapeur qui commande la génératrice G, et le renversement de marche s'effectue par commutation sur le circuit principal. Comme précédemment, un ampèremètre A et un plomb fusible sont intercalés dans ce circuit. L'excitatrice sert encore à l'éclairage du train, par l'intermédiaire de batteries d'accumulateurs B_1 B_2... destinées à éclairer chaque voiture indépendamment. Ces batteries seront chargées en tension pendant le jour ; la nuit, elles seront séparées l'une de l'autre pour alimenter chacune les lampes L, *l*... Si le freinage est électrique, une batterie B_f lui sera affectée.

Nous avons, sur ces bases, établi un avant-projet de train électrique, en utilisant autant que possible des matériaux déjà existants.

Les voitures ne diffèrent des véhicules électriques ordinaires, que par la puissance des moteurs, motivée par les vitesses que nous proposons d'atteindre. A la vitesse de 80 *km* (408 tours par minute), ces moteurs doivent développer 40 chevaux chacun, chaque voiture de 30 *t* étant munie de 2 moteurs.

Les fig. 15 et 16, Pl. 32, représentent l'application de l'une de ces machines à un bogie du type État. Le moteur est du type Rechniewski ; c'est une machine à 8 pôles, à anneau denté et inducteurs en tôle. Ses principales dimensions sont les suivantes :

Hauteur totale.	70 *cm*
Largeur.	70 *cm*
Plus grande longueur dans le sens de l'axe	70 *cm*
Diamètre de l'induit.	50 *cm*
Longueur de l'induit suivant l'axe . .	576 *mm*

Son rendement industriel est de 92 0/0 environ.

Les flasques en acier qui réunissent les inducteurs servent en même temps à suspendre; elles sont supportées par un cadre en acier qui repose sur les boîtes à graisse, ce qui leur permet de suivre tous les mouvements de l'essieu. Le cadre est en outre suspendu au châssis par des ressorts qui soulagent les fusées d'une partie du poids direct des inducteurs.

L'induit, calé sur l'essieu, s'enlève avec lui; les inducteurs sont montés en deux parties, pour permettre de le sortir plus facilement. Le collecteur est protégé de la poussière par une enveloppe en tôle. Les balais sont tangents, afin de permettre le mouvement dans les deux sens. La marche en arrière doit s'effectuer sans décalage. Toutes les connexions entre les moteurs et les câbles de distribution seront établies sous les voitures. Quant au raccord entre les véhicules, il se fera au moyen de contacts à accrochement, tels que ceux des fig. 8 et 9. Six câbles passent sous chaque voiture; à son extrémité, trois d'entre eux se terminent par des ressorts plats; les trois autres se prolongent pour aller s'appuyer sur les ressorts de la voiture suivante. A cet effet, ils se terminent par des gouttes métalliques, et sont fixés à une plaque isolante munie de poignées permettant de les accrocher dans la position exacte. La figure 10 indique comment cette disposition permet de retourner bout pour bout les véhicules, sans avoir à se préoccuper des connexions.

Le véhicule qui porte les machines forme, comme les voitures, une caisse fermée, que représente extérieurement la fig. 12, Pl. 32. Il est monté sur deux bogies à 6 roues, ayant chacun deux essieux moteurs (les réceptrices sont semblables à celles des voitures).

La figure 13 est une vue intérieure de ce véhicule. Le châssis est formé de deux forts longerons en tôle d'acier, entretoisés par des fers en I, et par les machines elles-mêmes. A l'arrière se trouve la chaudière, et un emplacement est réservé pour une partie des provisions d'eau et de houille. La machine à vapeur est disposée suivant l'axe du véhicule; elle attaque la génératrice et l'excita-

trice, accouplées directement aux extrémités de l'arbre (le système de distribution étant celui du schéma fig. 6). A l'avant se trouve le tableau, et le véhicule se termine par la proue dont nous avons déjà parlé. Une paire de tampons guidés la protège contre les chocs.

Le châssis repose sur les bogies sans l'intermédiaire des ressorts perpendiculaires à la voie. On peut ainsi rapprocher les essieux (l'entre-axe des essieux extrêmes de chaque bogie est de 2,60 *m*), en même temps qu'on diminue la tendance au roulis provoqué par le mouvement de la machine à vapeur. Ce roulis sera du reste beaucoup moins accentué que dans une locomotive ordinaire, dont les bielles se meuvent à une grande distance de l'axe.

La chaudière et la machine se rapprochent beaucoup d'un type créé par la Société « Germania », pour un torpilleur de la marine ottomane. La chaudière et la machine à vapeur, destinées à fournir 600 chevaux sur notre véhicule, ont donné, aux essais, jusqu'à 1 000 chevaux effectifs.

La chaudière, en ordre de marche, pèse 12 700 *kg*. Le foyer est en cuivre, l'enveloppe en acier Siemens-Martin. Elle est timbrée à 13 *kg*.

Ses dimensions principales sont les suivantes :

Diamètre du corps cylindrique	1,80 *m*
Longueur —	2,32 *m*
Longueur de la boîte à feu	2,48 *m*
Hauteur —	2,05 *m*
Longueur totale de la chaudière	4,80 *m*
Diamètre des tubes	0,048 *m*
Épaisseur —	0,002 *m*
Nombre de tubes	332
Longueur des tubes	2,37 *m*
Surface de grille.	330 *dmq*
— de chauffe.	145 *mq*

La machine pèse 8 100 *kg*. Les cylindres n'ont pas d'enveloppe de vapeur. Les manivelles du moyen et du petit cylindre ont le même calage. Elles sont à 120° de celle du grand cylindre. La distribution se fait par tiroirs cylindriques. Elle est du genre Marshall (un seul excentrique pour chaque cylindre). La détente sera variable, par un régulateur de vitesse calé sur l'arbre.

Diamètre du grand cylindre.	920 *mm*
— moyen —	620

Diamètre du petit cylindre	410
Course commune	420
Vitesse.	320 tours par minute.

L'excitatrice est une machine compound dont la puissance est d'environ 60 chevaux. Son poids est à peu près de 2 *t*.

La génératrice est une machine Rechniewski, à huit pôles (puissance, 395 000 watts ; poids, 10 *t*). Son rendement sera de 94 0/0. Le diamètre de l'induit est de 1,20 *m*. Cette machine est montée sur un socle creux, boulonné sur les longerons.

Le tableau placé à l'avant est représenté sur la figure 11. Le rhéostat est monté derrière ce tableau, le volant de commande étant en R. K est le commutateur. GG, $G'G'_1$ sont les conducteurs principaux sur lesquels sont intercalés l'ampèremètre J et le fil fusible F. ee_1, $e'e'_1$ sont les fils d'excitation de la génératrice. Une dérivation se rend directement aux réceptrices. Les conducteurs ll' alimentent le circuit d'éclairage. *r* est le rhéostat qui sert à régler la tension de l'excitatrice d'après les indications du voltmètre E. C est l'interrupteur du circuit d'éclairage. V, A sont les manomètres indiquant la pression dans la chaudière et le réservoir d'air comprimé. S commande le freinage. Le pilote ou conducteur placé devant ce tableau regarde la voie à travers une glace disposée au-dessus du tableau ; des ouvertures qui servent en même temps à la ventilation le mettent en communication acoustique avec l'extérieur.

La machine à vapeur tournera continuellement, sauf pendant les arrêts prolongés. La mise en marche se fera en tournant le rhéostat jusqu'à ce que l'intensité atteigne la valeur maxima que peuvent supporter les induits. Au fur et à mesure que la vitesse augmentera, le pilote continuera cette manœuvre, en maintenant enfin la manette dans la position qui correspond à la vitesse de régime. Pour l'arrêt, on serrera les freins, puis on amènera rapidement la manette au point mort. Si la marche doit être renversée, le pilote profitera de l'intervalle qui s'écoule entre le serrage des freins et l'arrêt complet, pour tourner le commutateur K, puis il lancera de nouveau le courant.

La présence d'un agent spécialement affecté à la conduite du train permettra de compter sur un parcours kilométrique quotidien plus grand que celui que fournissent habituellement les locomotives. Les machines, entièrement sous la main des hommes de service, peuvent être entretenues pendant le trajet. Le pilote, à

qui incomberont toute la responsabilité et toute la fatigue intellectuelle, pourra être remplacé au cours d'un long trajet et ne circuler que sur un parcours très restreint qu'il connaîtra à fond.

Le véhicule que représentent les figures 12, 13 et 14 pèsera :

Bogies	8	» *t*
Châssis et enveloppe	7	»
Machine à vapeur	8	100
Chaudière et eau	12	700
Dynamo	10	»
Excitatrice	2	»
Tableau et accessoires	2	200
TOTAL	50	» *t*

(Les provisions d'eau et de charbon sont portées par le fourgon-tender qui suit la machine.)

Ce véhicule coûtera environ 100 000 *f*.

La construction des voitures automotrices entraînera un supplément de dépense d'environ 11 000 *f* par voiture.

Le véhicule représenté fig. 12, 13 et 14 a une longueur totale de 24,80 *m* (entre tampons). La distance d'axe en axe des bogies est de 16,84 *m*. L'écartement des essieux extrêmes est de 19,44 *m*.

Il est à peine besoin d'ajouter que cette disposition n'utilise que très incomplètement l'espace disponible, et qu'il est facile de réduire cette longueur. On peut, en particulier, utiliser l'espace au-dessus des bogies, en retournant la chaudière de façon à placer le corps cylindrique au-dessus du bogie d'arrière, la machine à vapeur étant elle-même placée au-dessus du bogie d'avant. Enfin, l'emploi de chaudières autres que le type locomotive (chaudières du Temple, Oriolle, Thormycroft, Trépardoux) permet de réduire encore la longueur, et de la rapprocher de celle d'une machine ordinaire.

Dans la plupart des cas, il faudra recourir au tirage forcé, soit qu'il se fasse en chambre close, soit qu'il ait lieu par compression dans le cendrier seulement.

Le projet que nous présentons ci-dessus n'est du reste qu'une première ébauche, que l'expérience amènera sans doute à modifier profondément; aussi ne nous étendrons-nous pas davantage sur sa description, et terminerons en résumant les avantages généraux qui doivent résulter de l'emploi de ce système, sous quelque forme qu'il soit réalisé.

1° Il permet d'employer pour *tous* les véhicules du matériel à

bogies, qui circule plus régulièrement aux grandes vitesses, et passe en courbe avec facilité.

2° La résistance du train électrique est plus faible que celle d'un train ordinaire, par suite de la suppression de la locomotive. (Cette résistance sera rendue minima par l'adjonction d'une proue et le raccordement des faces des voitures.)

3° Les actions parasites qui se produisent en courbes, par suite de la traction oblique, sont supprimées, puisque la *traction* proprement dite n'existe plus.

4° L'emploi des machines à triple expansion réalise des économies de combustible, malgré la double transformation du travail mécanique.

5° Ces mêmes machines, diminuant les réserves d'eau et de combustible, et la puissance de la chaudière, permettent de construire le matériel électrique avec un poids très peu supérieur à celui du matériel mécanique.

6° Les moteurs électriques fournissent un démarrage plus rapide que tout autre mode de traction.

7° L'adhérence du train est parfaite, et très supérieure à celle que nécessite le démarrage rapide.

8° L'ensemble du matériel conserve une grande élasticité, puisqu'il n'y a plus de liaison mécanique entre les essieux moteurs.

9° Les essieux peuvent toujours être chargés au-dessous de la limite admise (13 *t*) et la répartition des charges devient beaucoup plus facile.

10° Grâce à la suppression du patinage, et à l'absence des mouvements parasites, de notables économies seront réalisées sur le matériel fixe.

11° Enfin, la douceur de roulement du matériel électrique fait espérer qu'il pourra circuler, sur les voies ordinaires, à des vitesses très supérieures aux vitesses admises jusqu'ici.

NOTICE NÉCROLOGIQUE

SUR

M. HENRY LOVE

PAR

M. H. BOBIN

(Lue par M. G. Cerbelaud, à la séance du 6 mars 1891.)

Messieurs,

La mort vient d'éprouver encore bien cruellement notre Société, en frappant un de ses membres les plus jeunes et les plus brillants.

Paul-Henry Love a succombé à une congestion pulmonaire, le 26 février dernier ; il n'était âgé que de 36 ans.

Cet Ingénieur, si affable et si bienveillant pour ceux qui l'entouraient, était profondément aimé de tous et ne laisse derrière lui que larmes et regrets.

Sorti le second, en 1876, de l'École Centrale, avec le premier diplôme des métallurgistes, il entra immédiatement au Creusot, qu'il ne vient malheureusement de quitter que pour la tombe.

Il débuta d'abord à la Forge, au service des essais, dont il devint rapidement le chef, passa ensuite à la Direction, où on ne tarda pas à s'apercevoir qu'à côté de l'Ingénieur il y avait un véritable administrateur; aussi fut-il bientôt élevé au rang de chef de service et appelé à prendre dans les affaires générales du Creusot une importante situation. Il remplit souvent des missions à l'étranger, exigeant des qualités exceptionnelles de tact et de décision, et sut, chaque fois, mériter les éloges de ses chefs.

Bien que spécialisé dans un service administratif et commercial, Love ne put jamais se détacher des questions purement techniques ; c'est ainsi que se livrant successivement à l'étude particulière de chaque branche du Creusot, il avait trouvé un

procédé de fabrication de douilles en acier pour fusils et canons Hothkiss, inventé un filet pare-torpilles et étudié la question du chauffage des fours au pétrole. Il est aussi l'auteur d'un revolver militaire dont la disposition peut s'adapter facilement au revolver d'ordonnance et qui donne à cette arme la précision d'un pistolet de tir, et d'un canon actuellement en cours d'exécution au Creusot.

Enfin, dans ces derniers temps, il s'était profondément épris d'électricité et s'y était adonné avec l'ardeur et la ténacité qu'il apportait dans toutes ses études.

Notre Société vient donc de faire une perte bien sensible en la personne de Henry Love, appelé bien certainement à un avenir des plus brillants ; il y avait du reste été bien préparé en puisant, dès son enfance, à la source paternelle, des éléments pratiques et complémentaires que les meilleurs cours ne peuvent jamais donner.

Son père, M. Georges Love, le doyen des anciens Présidents vivants de notre Société, bien connu de tous par ses nombreux travaux professionnels et scientifiques, avait constamment entouré son fils d'une atmosphère d'Ingénieurs qui devait forcément le conduire à embrasser la carrière ; la haute intelligence et les brillantes qualités du fils devaient rapidement en faire une nature d'élite et le mettre hors pair. L'attention que notre ancien Président donnait aux travaux de son fils rend pour lui plus cruelle encore la perte de celui à qui souriait l'avenir.

Les témoignages d'affection et de sympathie, que sa dépouille mortelle a reçus d'abord au Creusot et qui l'ont ensuite accompagnée à Paris, jusqu'à sa dernière demeure, ont pu seuls nous donner une idée exacte de l'irréparable et grande perte que nous venons de faire.

Nous ne pouvons, malheureusement, que nous associer de tout cœur à la profonde douleur des pauvres parents si cruellement frappés, et prier notre Président de leur transmettre, avec tous nos compliments de condoléance, l'expression la plus sincère de nos bien vifs regrets.

Paris, le 4 mars 1891.

CHRONIQUE

N° 134.

Sommaire. — Chemin de fer funiculaire aérien pour Bruxelles. — Dépôts graisseux dans les chaudières. — Halage sur les canaux. — Le système décimal en Angleterre. — La population des États-Unis.

Chemin de fer funiculaire aérien pour Bruxelles. — La question des chemins de fer funiculaires dans les villes étant à l'ordre du jour, il nous paraît intéressant de reproduire le résumé d'une communication faite par M. Lebrun à la section de Bruxelles de l'Association des Ingénieurs sortis de l'École de Liège, sur un projet de chemin de fer funiculaire aérien à créer à Bruxelles.

La ville de Bruxelles se compose, en réalité, de deux grandes parties : la ville basse, où se trouvent concentrés tout le commerce de la capitale, les théâtres et autres lieux de plaisir, les grandes gares, etc.; la ville haute, où l'on rencontre les ministères, les Chambres, le palais justice, les grands établissements financiers et les plus belles promenades. Ces deux parties ne sont reliées l'une à l'autre que par des rues à pentes très raides, de vraies montagnes. D'autre part, Bruxelles est bordé à l'Est et à l'Ouest de faubourgs très populeux et industriels. Il en résulte une circulation très intense entre les faubourgs et la partie basse de la ville.

L'organisation d'un bon service de tramways est pour Bruxelles d'une utilité incontestable.

Pour répondre aux divers besoins de la population, ces tramways doivent non seulement faciliter les relations de quartier à quartier, mais ils doivent encore, dans l'intérêt de l'hygiène publique, rendre plus accessibles les promenades qui entourent l'agglomération bruxelloise.

Or, les tramways existant dans le haut et le bas de la ville sont tous dirigés du Nord au Sud, sans aucune liaison transversale, car la ligne circulaire des boulevards ne peut être considérée comme une ligne de jonction. Les omnibus dits de pavé ne peuvent non plus être considérés comme suppléant à cette lacune.

L'absence d'un tramway dans la direction de l'Est à l'Ouest s'explique par la grande difficulté, sinon l'impossibilité, de franchir la différence totale de 38 *m* qui sépare le bas du haut de la ville, en se servant des rues telles qu'elles existent. Cette difficulté est réelle ; mais il y a lieu de se demander si, dans l'état actuel de l'art de l'Ingénieur, elle est pratiquement insurmontable. En d'autres termes, faut-il imposer indéfiniment à toute la population bruxelloise l'obligation de faire chaque jour cette ascension de 38 *m* et d'y consacrer, indépendamment du temps qu'elle exige, une somme d'efforts et de fatigue sans compensation et

sans profit pour personne. La réponse ne peut pas être douteuse, et il suffit de voir ce que l'on a fait dans des localités beaucoup moins importantes que Bruxellles pour résoudre des difficultés analogues. Il faut évidemment recourir à un moyen mécanique, rapide, économique, à l'usage de tout le monde.

L'idée n'est pas précisément nouvelle pour Bruxelles. En effet, en 1884, M. Gillon a présenté un projet consistant à passer en souterrain sous les rues de la Madeleine, Canterseen, de la Montagne-de-la-Cour, sous la place Royale et la rue de Namur, pour aboutir, toujours en sous-sol, à la porte de Namur. Ce projet comprenait environ 1 000 *m* de traction funiculaire à mouvement alternatif, comme à Lyon, à Constantinople, etc. Ce projet n'a pu aboutir, par suite de certaines craintes de l'État, etc.; mais l'idée était excellente et pratique; sa réalisation eût rendu des services réels, quoique conçue dans un ordre d'idées un peu autre que le projet actuel.

Dans celui-ci, la voie part du niveau du sol et y aboutit en passant au-dessus des maisons et des rues; la traction y est continue; il permet la continuité facultative des voitures. Ce que l'on propose aujourd'hui, c'est un tramway aérien du genre de ceux qui existent aux États-Unis depuis 1872. (Voir à ce sujet le travail très instructif et intéressant résumant la conférence faite au Conservatoire des Arts et Métiers, à Paris. le 21 mars 1886, par M. Banderali, travail auquel l'auteur emprunte une quantité de renseignements.) A cette époque, il existait déjà, à New-York, 450 *km* de tramways ordinaires, ayant coûté 200 millions de francs et transportant annuellement 270 millions de voyageurs. Le tramway aérien de New-York, loin de nuire aux tramways ordinaires, en a développé le trafic. Commencé en 1872, il s'est développé d'abord lentement, puis plus rapidement de 1877 à 1880, et sa longueur en 1885 dépassait 52 *km*. Chacun de ces 52 *km* a coûté en moyenne 3 millions de francs.

La recette par kilomètre a été: en 1872 de 16 300 *f*, en 1873 de 50 170 *f* et en 1885 de 673 130 *f* !! Les tramways aériens de New-York passent généralement au-dessus des rues, mais aussi, dans certains cas, au-dessus des maisons. Leur hauteur varie de 8 à 15 *m* et dépasse parfois 25 *m*. Leur profil longitudinal est assez accidenté et présente de nombreuses déclivités de 10 0/00. Le mouvement y est des plus intenses : de trois à six minutes d'intervalle se succèdent des trains composés d'une locomotive et de deux, trois ou quatre voitures de grande capacité. Les locomotives pèsent 10 *t* à vide et 14 *t* en ordre de marche. Les voitures à bogies mesurent 12,50 × 2,65 *m*, contiennent 48 places assises et pèsent 8 *t* à vide et 12 *t* pleines. En général, on tend aujourd'hui à substituer les machines aux chevaux. Mais le succès qui parait accueillir, surtout aux Etats-Unis, l'installation des tramways à traction par câble sans fin, fera probablement prévaloir ce dernier mode de traction dans les villes à profil accidenté. Il fonctionne avec succès à San-Francisco, à Chicago, à Philadelphie, à Saint-Louis, à New-York, à Londres, à Édimbourg, etc.; on l'installe à Paris (Belleville).

Les diverses installations existantes se ressemblent beaucoup, sauf dans les détails. Elles consistent en un câble sans fin, supporté de distance en distance par des galets, s'enroulant sur des tambours aux extré-

mités et marchant sans s'arrêter à une vitesse de 12 *km* à l'heure. Pour la traction au niveau des rues, le câble se trouve logé dans un aqueduc présentant une fente à sa partie supérieure et dans toute sa longueur. Chaque voiture est munie d'une pince que l'on introduit dans la rainure et au moyen de laquelle on saisit le câble en serrant progressivement ; la voiture se met aussitôt en mouvement et sa vitesse croit à volonté jusqu'à 12 *km*. Le principe est des plus simples, mais ses applications sont parfois difficiles ; seulement on possède aujourd'hui beaucoup d'exemples.

La fabrication des câbles demande de très grands soins. On emploie des câbles ronds, ressemblant quelque peu aux câbles télégraphiques sous-marins, mesurant de 25 à 30 *mm* de diamètre et dont le métal doit être de toute première qualité.

Les câbles s'usent rapidement et on doit les surveiller soigneusement ; seulement la visite en est très facile. Ils durent environ neuf mois ; le maximum de durée observé a été de 850 jours.

A New-York, au chemin de fer aérien, le prix des places est uniforme : 25 *c* de quatre à sept heures et demie du matin et du soir et 50 *c* pendant le reste de la journée. Le mouvement est énorme ; le nombre des départs atteint parfois 40 en une heure.

Le chemin de fer funiculaire aérien, projeté à Bruxelles, aura son origine dans un passage couvert à construire en face la galerie Saint-Hubert, dans l'angle formé par la rue de la Montagne et le Marché-aux-Herbes. Après avoir franchi la rue du Singe, il s'élèvera par une rampe de 20 0/00, suivie d'une deuxième rampe de 13 jusqu'à la rue de la Bergère ; en ce point, il sera à plus de 20 *m* au-dessus des rues et aboutira par une rampe de 15, suivie d'un palier à la rue Royale, près de la statue du général Belliard. Il sera à deux voies, une montante et une descendante. A partir de la rue des Longs-Chariots, il sera établi sur un viaduc en fer dont la longueur sera d'environ 400 *m*, divisée en travées de 100 à 133 *m*. Les poutres porteront sur des piles en maçonnerie dont la hauteur variera de 17 à 22 *m*. La longueur totale du chemin de fer sera d'environ 580 *m*.

La gare placée au point de départ aura son entrée à proximité de celle du passage Saint-Hubert. Elle comprendra deux voies pour le chemin de fer, longées par de larges trottoirs, et sera conçue de façon à permettre aux propriétaires riverains d'établir tout le long des deux faces latérales des magasins avec vitrines et entrées. Dans ces conditions, la gare elle-même ne tardera pas à être convertie en un passage couvert, qui sera prolongé jusqu'à la rue de la Putterie. L'installation entière sera éclairée à la lumière électrique.

Les diverses machines seront établies sous cette gare, entre les murs soutenant les voies du côté de la rue des Longs-Chariots. Des voitures spéciales, munies de pinces d'attache et de freins puissants, partiront toutes les quatre minutes des deux points extrêmes ; elles franchiront en deux minutes et demie la distance totale. Quant aux voitures de tramways ordinaires, partant de la Bourse (ou même de la porte de Ninove), de la gare du Luxembourg ou de tout autre point, elles seront attachées au câble par l'intermédiaire des voitures spéciales, parcourront ainsi

le chemin de fer aérien et s'en détacheront ensuite pour reprendre leur course jusqu'à destination.

La force motrice sera fournie par une machine fixe à deux cylindres compound et munie de tous les perfectionnements. Les voitures seront de grande capacité et montées sur bogies ; elles pourront contenir 40 places assises, et une grande plate-forme centrale sera destinée aux voyageurs qui préféreront rester debout. Le conducteur, qui aura sous la main les appareils servant à manœuvrer la pince d'attache du câble ainsi que les freins, sera placé sur une estrade inaccessible au public, ménagée à chacune des extrémités de la voiture.

On a supposé une vitesse réglementaire de 12 *km* à l'heure, soit 3,30 *m* par seconde. Il faudra un câble de 30 *mm* de diamètre, donnant une section utile de 300 *mm²* et fournissant une charge de rupture de 36 000 *kg*. Les fils seront en acier fondu de toute première qualité et placés autour d'une âme en chanvre. Le câble pèsera environ 3 *kg* par mètre courant.

Les voies seront en rails d'acier de 30 *kg* de l'ancien profil du Nord. Le tablier métallique sera formé de poutres continues. Selon que l'on adoptera des travées de 100 ou de 133 *m*, il pèsera 1 000 à 1 250 *t*. Eu égard à ce que coûtera une pile, le prix total du viaduc différera peu dans les deux cas, et c'est la dépense occasionnée par les expropriations qui guidera le choix entre les deux solutions.

Le pont sera en treillis à grandes mailles solidement contreventé en haut et en bas. Le tablier sera formé de traverses en bois et de longrines rendant les déraillements impossibles. On prendra toutes les précautions pour empêcher le bruit.

En résumé, cette entreprise peut se diviser en deux éléments distincts :

1° Le passage couvert avec toutes ses installations ;

2° Le chemin de fer funiculaire aérien. La dépense totale est estimée à 3 500 000 *f* et se décompose ainsi :

Expropriations	*f*	1 150 700
Construction de la galerie		510 000
— des murs portant la voie et clôturant le hall aux machines		60 000
Supports du viaduc		125 000
Viaduc en fer (y compris les voies)		450 000
Machines		100 000
Câbles et divers		60 000
Travaux imprévus et frais divers		244 000
Indemnités aux propriétaires des maisons situées sous le viaduc		480 000
Frais d'études et de constitution de Société	*f*	320 000

Quant au produit, on peut le chiffrer d'après les éléments suivants :

Il sera d'environ 30 à 40 000 *f* pour la galerie. Si l'on tient compte qu'actuellement il passe en moyenne par jour 50 000 personnes à la Montagne de la Cour, 32 000 au Treurenberg et 15 000 à la Montagne du Parc, on peut compter que 7 000 voyageurs emprunteront journellement le chemin de fer funiculaire. Admettant que le prix du voyage

sera de 0,15 *f* en première classe et 0,10 *f* en seconde, et ajoutant la redevance payée par les voitures des tramways ordinaires, on arrive à une recette annuelle totale de 360 000 *f*.

Les frais d'exploitation peuvent s'estimer à 50 0/0. Il resterait donc 180 000 *f* pour rétribuer le capital de 3 500 000 *f* auquel on fournirait ainsi un revenu de plus de 5 0/0. Les évaluations des dépenses ont été faites largement et celles des recettes avec beaucoup de modération ; il est donc probable que le rendement indiqué ne tarderait pas à être dépassé.

Dépôts graisseux dans les chaudières. — Nous trouvons dans les procès-verbaux des séances de la section de Liège de la même Association des observations intéressantes de notre collègue, M. Greiner, directeur général de la Société Cockerill, sur les dépôts qui se forment dans les chaudières à haute pression.

Depuis quelques années, l'emploi des hautes pressions dans les chaudières marines a conduit à la substitution des huiles minérales aux huiles végétales ou animales pour le graissage des parties internes des machines, les huiles minérales ne se décomposant pas sous l'influence de la chaleur et par suite n'attaquant pas les parois des cylindres, tiroirs et autres parties frottantes.

Le problème du graissage à haute température semblait ainsi résolu lorsqu'on s'aperçut, en 1880, à bord du steamer *Roumania*, que des bosses extraordinaires s'étaient produites dans les foyers des chaudières, sans que celles-ci eussent manqué d'eau. Depuis, des accidents pareils furent reconnus plus fréquemment et l'on constata, dans plusieurs chaudières soumises à l'inspection du Lloyd, des bosses qui avaient des flèches allant de 3 à 240 *mm*. M. Parkes, Ingénieur en chef du Lloyd, fit une étude approfondie de ces phénomènes et n'hésita pas à les attribuer à des dépôts graisseux particuliers formés dans les chaudières.

En effet, dans les machines marines travaillant à condensation, avec des pressions de vapeur élevées, les chaudières sont alimentées par la même eau ; il y a là un cycle fermé, de sorte que sur une machine bien conduite les pertes d'eau sont insignifiantes. La vapeur, dans son passage à travers les cylindres, se charge de l'huile de lubrification ; l'eau d'alimentation s'en charge à son tour et elle entraîne en même temps aux chaudières un peu de fonte provenant de l'usure des cylindres, un peu de caoutchouc venant des clapets des pompes à air et toutes les autres matières provenant des usures naturelles. Toutes ces substances forment, avec les sels calcaires et autres de l'eau, une sorte de sirop graisseux, une sorte de glu qui va s'augmentant de jour en jour et qui est fort mauvais conducteur de la chaleur (1).

Suivant la densité de l'eau, suivant la plus ou moins grande élévation des pressions, ce liquide flotte à la surface ou nage dans la chaudière ou vient se déposer dans le fond ; dans ce mouvement de va-et-vient, une partie s'attache aux tubes et coule sur les foyers, empêchant la

(1) On a cherché à parer à l'inconvénient signalé ici par le filtrage ou dégraissage de l'eau de condensation avant sa réintroduction à la chaudière. Voir la note de M. A. Normand sur les machines de torpilleurs. (Bulletin de décembre 1890 de la Société des Ingénieurs civils, page 860.)

transmission directe de la chaleur à l'eau ; lorsqu'en un point l'épaisseur en est suffisante, la tôle rougit, s'affaisse par la pression, une bosse s'est produite. Si on visite l'intérieur d'une pareille chaudière, on s'aperçoit que toute la surface est couverte d'une couche poisseuse, et aux endroits où un affaissement s'est produit, l'action de la chaleur a laissé un résidu calciné pulvérulent rougeâtre, composé presque exclusivement de fer.

Des expériences faites avec une tôle emboutie et avec des dépôts graisseux recueillis dans une chaudière ont reproduit exactement tous ces phénomènes.

L'analyse des enduits graisseux a donné, outre 66 0/0 de matières volatiles :

	Échantillons pris dans une chaudière anglaise.	Échantillons pris dans une chaudière belge.
Résidu insoluble (sable, argile). .	10,75	11
Oxyde de fer.	50	46
Chaux.	4	7,50
Magnésie	17	23
Acide sulfurique	4,90	7,20
Alumine.	2	1
Plomb.	2,50	2,50
Zinc et cuivre	2 à 3	0,60

Quel remède y a-t il à apporter aux chaudières ainsi exposées ?

Tout d'abord, si la chaudière est endommagée, il faut repousser les bosses et rendre les foyers parfaitement cylindriques. Pour cela, on chauffe les parties déformées avec un foyer au charbon de bois, puis on les repousse au moyen d'une petite presse hydraulique qu'on laisse en place jusqu'à refroidissement complet ; avec quelques précautions ce procédé réussit parfaitement.

Ensuite, on purifie la chaudière contaminée ; pour cela on la remplit d'eau douce et on y verse 2 à 3 0/0 d'un liquide spécial " Glenfield's boiler cleaning fluid " (solution concentrée de bicarbonate de soude et de potasse avec un peu d'acide citrique). On allume les feux et on maintient une pression de 2 à 3 atmosphères pendant vingt-quatre heures ; sous l'action des sels alcalins et de la chaleur, les matières graisseuses se détachent et viennent flotter à la surface ; après ce laps de temps, on commence des extractions d'heure en heure, en maintenant la même pression ; on fait 5 à 6 extractions de surface et ensuite une vingtaine de fond ; chaque fois on refait le plein en ajoutant successivement 1 à 2 0/0 de solution Glenfield. Si après ce traitement la chaudière n'est pas parfaitement propre, on recommence ; en général, un premier travail suffit.

Pour prévenir le retour de semblables accidents, il faut :

1° Graisser les cylindres le moins possible ;

2° Employer des eaux aussi pures de sels calcaires que possible ;

3° Introduire chaque jour dans l'eau d'alimentation un demi-litre de Glenfield et faire environ deux fois par semaine une extraction de surface de 10 *cm*.

Ce procédé a été appliqué de point en point à des chaudières marines qui avaient eu leurs foyers bosselés ; le navire vient d'accomplir trente et un jours de voyage consécutifs. A la visite ces chaudières, qui auparavant étaient littéralement infectées par les huiles, n'ont plus présenté la moindre trace d'enduits ou de dépôts ; les foyers étaient absolument nets ; après avoir été vidés, les tubes et les boites à feu étaient recouverts d'une légère couche de poussière jaune sèche et pulvérulente.

Des expériences directes ont d'ailleurs été faites pour se rendre compte de l'effet des dépôts graisseux dans les chaudières.

Dans les fonds des chaudières du *Prince-Albert* et de *la Flandre*, on fit ramasser des dépôts graisseux ayant une certaine consistance et se composant d'huile, de graisse, d'oxyde de fer et de sulfate de chaux et de magnésie ; la consistance était celle d'un mastic assez mou.

L'épaisseur des foyers de ces chaudières étant de 12,5 *mm*, on prit un fond de chaudière ayant 10 *mm* d'épaisseur, 590 de diamètre et 160 de profondeur. On frotta le fond avec ce dépôt graisseux, de façon à en mettre une couche de 1/4 à 3/4 de millimètre, puis on mit 7 *l* d'eau, de façon à avoir 58 *mm* au-dessus du fond, et le tout fut mis sur un feu de forge soufflé. L'ébullition se produisit au bout de trois minutes et douze secondes ; on enleva alors le fond et on le fit reposer sur une feuille de papier blanc qui prit feu instantanément ; on remit le fond sur le feu et, au bout de huit minutes d'ébullition, le fond devint rouge, quoiqu'il y eût encore 24 *mm* d'eau dessus. On enleva alors l'eau, et le fond fut soigneusement examiné ; là où la tôle avait rougi, il n'y avait pour ainsi dire plus de dépôt ; partout ailleurs la matière huileuse avait disparu et il n'y avait plus qu'un dépôt adhérent, pulvérulent, brunâtre, dépôt que l'on a obtenu identique en faisant calciner lentement sur une tôle chauffée au rouge un peu de dépôt graisseux.

Un fond identique au premier fut rempli également de 7 *l* d'eau, mais sans enduit de dépôt graisseux ; placé sur le même feu de forge, l'eau entra en ébullition en deux minutes trois secondes et, après sept minutes d'ébullition, le fond placé sur du papier blanc ne le noircit même pas.

Ces expériences vont être poursuivies et complétées d'une manière rationnelle, et alors on en tirera les conséquences naturelles.

Les foyers sont donc une source de danger dans les chaudières à haute pression, et il faut y employer de faibles épaisseurs d'un métal solide et sûr.

Halage sur les canaux. — A une réunion récente de l'Association des chemins de fer, à Berlin, M. Wiebe a donné des renseignements sur des expériences faites sur le canal de l'Oder à la Sprée pour la traction mécanique des bateaux. Cette dernière constitue une nécessité absolue dès que la dimension des bateaux devient telle que le halage par des animaux est insuffisant.

Il est difficile d'employer, sur les canaux, le touage, quels que soient d'ailleurs ses avantages, à cause de la faible longueur des biefs et des proportions souvent très restreintes des écluses. C'est ce qui arrive sur le canal en question.

On a opéré sur deux divisions du canal de l'Oder à la Sprée, d'une longueur collective de 5 600 *m* environ, avec un câble sans fin en mouvement continu auquel les bateaux peuvent s'amarrer. Ce câble est actionné par des machines fixes et porte sur des poulies fixées à des poteaux. On a expérimenté des supports de quantité de formes différentes. Les résultats ont été satisfaisants au point de vue général, les bateaux ont pu s'attacher au câble et s'en détacher ; mais on a éprouvé des difficultés assez sérieuses du fait que le câble en mouvement se met à tourner autour de son axe et que les amarres ont une tendance à s'y enrouler, tendance que toutes les dispositions employées ne parviennent pas à supprimer complètement (1). Cette difficulté paraît assez sérieuse pour empêcher le développement de ce système de traction.

On a essayé sur le même canal le halage au moyen d'une locomotive circulant sur une voie posée sur la berge. Ce système a été employé en France sur une assez grande échelle. On y attache directement la remorque à la locomotive, ce qui exerce sur elle un effort tendant au renversement.

Dans les expériences faites en Allemagne, on s'est servi d'une machine de terrassements circulant sur une voie légère du genre de celles qu'on emploie dans les mines et attelée à un wagon fortement lesté au centre de gravité duquel s'attache la remorque.

On a constaté que l'usure était égale sur les deux rails, bien qu'il n'y eût pas de surélévation du rail extérieur dans les courbes. Les résultats ont été des plus satisfaisants. On a été jusqu'à une vitesse de 12 *km* à l'heure, mais celle de 5 à 6 *km* est bien suffisante pour le halage des bateaux. Pour remorquer trois grosses barques chargées de charbon, la traction sur la remorque a été trouvée de 800 *kg* au départ, mais une fois les bateaux en mouvement, l'effort est notablement réduit. Dans les parties en ligne droite, l'effort est constant, dans les courbes convexes il augmente, et il diminue dans les courbes concaves. L'inclinaison du chemin de halage agit sur la vitesse seulement et non sur l'effort nécessaire pour trainer les bateaux.

Le halage par locomotives paraît également être employé en Amérique, car la Compagnie Porter, de Pittsburg, vient de recevoir du gouvernement des États-Unis la commande de deux locomotives du type Forney (deux essieux accouplés compris entre deux essieux porteurs à mouvement radial) pour le service de la traction sur les canaux de l'Alabama.

Le système décimal en Angleterre. — M. J. Emerson Dowson a fait le 4 février dernier à la Société des Arts de Londres une conférence sur l'introduction du système décimal en Angleterre, conférence dont nous résumons comme suit les points les plus intéressants.

Il y a plus de soixante ans que la question de l'introduction dans la Grande-Bretagne du système décimal de monnaies, poids et mesures a été mise sur le tapis et plusieurs fois soumise à des enquêtes. En 1841, après l'incendie des Chambres du Parlement dans lequel les étalons des poids et mesures avaient été détruits, la Commission nommée à cette

(1) Voir sur la même question, Chronique de juin 1886, p. 686, séance des 19 janvier et 1er février 1889 et Bulletin d'octobre 1889, page 448.

occasion avait signalé incidemment les avantages du système décimal. En 1853 on proposa de nommer un comité pour étudier la question; mais lorsqu'il fut institué on restreignit sa mission à l'examen du système décimal pour les monnaies seules. Ce moyen de faire échouer l'affaire fut employé à plusieurs reprises et toujours avec succès. Les rapports ne manquaient jamais de conclure que la division des monnaies ayant un rapport intime avec celle des poids et mesures, on ne pouvait pas modifier l'une sans l'autre et que la Commission n'ayant pas mission de s'occuper de la seconde, elle devait forcément proposer de rester dans le *statu quo* pour la première.

Toutefois, en 1862, on finit par nommer une Commission d'enquête pour étudier « la possibilité d'adopter un système simple et uniforme de poids et mesures ». Le rapport conclut fortement à l'adoption du système métrique et ajouta que, si on voulait en obtenir tous les avantages possibles, il était nécessaire de le faire accompagner par l'introduction du système décimal dans les monnaies.

Au moment de ces enquêtes on ne manqua pas de mettre en avant à toute occasion l'argument favori des adversaires du système décimal, le moindre nombre des diviseurs exacts de 10, circonstance qui rend fractionnaire la valeur décimale du quart et inexprimable en toute exactitude celle du tiers. L'auteur ramène cette objection à sa juste valeur, c'est-à-dire à zéro.

On étonnerait beaucoup les peuples habitués dès leur enfance à se servir du système décimal, en leur signalant la gêne que leur cause dans leurs affaires cette circonstance, gêne dont ils ne se sont jamais doutés.

Il est certain que cet inconvénient sur lequel on appuie si volontiers en Angleterre n'a pas empêché l'extension du système décimal, à un point que l'auteur met en évidence d'une manière frappante en présentant une carte du monde dans laquelle les pays civilisés qui n'emploient pas la monnaie décimale sont teintés en noir. Cette carte présente cinq taches noires d'une étendue assez faible et représentant : la Grande-Bretagne et l'Irlande, la colonie du Cap, l'Inde anglaise, l'Australie et la Nouvelle-Zélande.

Dans quatre de ces contrées on emploie le système anglais, la livre de 20 shillings de 12 pence, et dans l'Inde la roupie de 16 *annas* de 4 *pice*.

Le système métrique de poids et mesures est employé obligatoirement ou facultativement dans un très grand nombre de pays représentant une population collective de 330 millions d'habitants ayant fait, en 1889, une somme d'échanges avec l'Angleterre, représentant à peu près 9 milliards de francs.

Pour prendre ses compatriotes par l'endroit sensible, M. Emerson Dowson signale combien ces échanges pourraient augmenter encore d'importance sans les difficultés qu'amène dans les transactions commerciales la différence des unités de poids et mesures et surtout la presque impossibilité de comprendre, dans certains cas, les poids et mesures britanniques; nous reviendrons plus loin sur ce point.

L'auteur, pour bien faire comprendre à son auditoire les facilités que donne au calcul le système décimal, donne en regard un certain nombre

d'opérations arithmétiques effectuées dans les deux modes de numération. Un exemple suffira. Pour multiplier 17 255 *kg* par 78, il faut 5 lignes de chiffres. Pour multiplier par le même nombre l'équivalent en mesures anglaises, soit 16 *t*, 18 *qx*, 3 quarters et 21 livres, il faut réduire le tout en livres, ce qui représente 27 lignes de chiffres au lieu de 5. Ce cas est relativement simple, mais si on veut multiplier ou diviser des poids par des monnaies, c'est encore bien autre chose. Il est vrai qu'avec de l'habitude on arrive à abréger considérablement ces opérations, mais ces abréviations doivent être mises au compte de l'habileté des hommes et non à celui du système. Les calculs d'intérêt présentent de même une très grande complication.

On peut faire observer incidemment que l'usage de la règle à calcul qui est basée sur l'emploi du système décimal est, pour cette raison, presque inconnu en Angleterre au grand détriment de la rapidité du calcul. Il en est de même de l'usage des machines à calculer. Il est certain que l'emploi du système anglais fait perdre un temps énorme dans les affaires commerciales et industrielles. L'auteur a eu l'excellente idée de reproduire le programme d'un cours complet d'arithmétique avec les tables de monnaies, poids et mesures, que les élèves doivent apprendre par cœur. Si les enfants des écoles pouvaient apprécier la différence avec le système métrique, ce n'est pas de leur côté que viendrait l'opposition à son introduction pour remplacer un système antique et absurde sur lequel on leur fait passer un temps énorme qui pourrait être employé plus utilement à acquérir d'autres connaissances.

Les avantages du système métrique sont tellement évidents qu'on fait en ce moment un mouvement pour obtenir que, dans certaines écoles, il fût ajouté dans l'enseignement de l'arithmétique; on peut signaler dans ce sens une agitation pétitionnaire considérable émanant d'un nombre de villes importantes, telles que Birmingham, Coventry, Derby, Hull, Leeds, Plymouth, Sheffield, Swansea, etc.

En regard des difficultés que présente l'étude du système anglais, on a souvent mis la valeur qu'ont ces mêmes difficultés comme gymnastique mentale propre à développer l'intelligence. On peut répondre que, s'il est exact qu'il y ait intérêt à faire faire aux enfants des calculs de tête et à les rompre aux exercices d'arithmétique, il ne manque pas de sujets sur lesquels on peut les faire travailler plus utilement que sur un système baroque et sans intérêt auquel personne ne penserait plus le lendemain de son abandon.

Les livres d'arithmétique, basés sur la division décimale, fourmillent de problèmes au moins aussi utiles et intéressants que ceux qu'on trouve dans les livres anglais. En tout cas, travail pour travail, il est plus profitable d'exercer l'esprit des enfants dans un sens dont la logique leur apparaît immédiatement que de fatiguer leur esprit dans un dédale de faits incohérents et sans liaison entre eux.

L'introduction du principe décimal dans le système monétaire britannique présente une assez grande difficulté, principalement au point de vue de la période de transition. Si tous ceux que n'aveugle pas le préjugé sont d'accord sur la nécessité de la transformation, on est loin d'être d'accord sur la manière de la réaliser.

On a proposé de partir du bas, c'est-à-dire conserver la plus petite monnaie, le farthing. La livre valant actuellement 960 farthings il faudrait porter sa valeur à 1 000, ce qui entrainerait des difficultés considérables sans compter celle qui résulterait de la refonte complète de la monnaie d'or.

On a également proposé de créer comme unité un dollar valant 4 schellings et divisé en 100 cents, la plus petite monnaie représenterait alors un penny; comme la pièce de 4 schellings représente actuellement 48 pences ou 96 des cents proposés, il faudrait changer la petite monnaie actuelle ou modifier sa valeur.

Pour tourner cette difficulté, on a proposé de créer un dollar valant 4 schellings et 2 deniers, ce qui ferait 50 pences ou 100 cents d'un demi-penny. On pourrait ainsi conserver la petite monnaie existante, mais il faudrait porter la valeur de la livre à 20 schellings et 10 pences, ce qui constitue une très grave objection. Les commissions et les plus hautes autorités scientifiques ont toujours été absolument opposées à l'abandon de la livre actuelle.

Les chambres de commerce se sont toujours, notamment dans une occasion très récente (Édimbourg et Glasgow), montrées partisans résolus de la conservation de la pièce d'or actuelle.

Un système tout opposé consiste dès lors à conserver la livre sterling et à la diviser en 1 000 mils ou farthings. Il entraine le changement de la monnaie de cuivre et on lui objecte surtout la gêne qu'il amènerait pour les modestes transactions journalières de la classe la plus pauvre et la plus ignorante de la population. Cette solution manquerait, a dit à ce sujet le *Times*, de la popularité dont on tient peu de compte dans l'étude d'un système, mais qui joue un si grand rôle dans sa réussite en pratique.

La meilleure solution serait peut-être celle qui avait été proposée dès 1824 par sir John Wrottesley, consistant à employer pour unités la livre, le double schelling ou florin et le farthing. Ce système a l'avantage d'avoir pour cent le farthing au lieu du demi-penny. Il y a bien toujours la difficulté de la différence de valeur du farthing, puisque la livre qui représente actuellement 960 farthings devrait en représenter 1 000, ce qui réduit de 4 0/0 la valeur actuelle du farthing, mais ce n'est pas une difficulté insurmontable.

De même on s'exagère beaucoup la gêne que cause la période de transition. Le cas s'est présenté dans nombre de pays; ainsi on peut citer l'Espagne, l'Italie, l'Allemagne, l'Autriche, le Danemark, la Suède, la Turquie, pour ne parler que des Etats de l'Europe chez lesquels l'adoption de la monnaie décimale s'est faite plus ou moins récemment sans avoir donné lieu à de grandes difficultés. Un exemple plus frappant peut-être parce qu'il touche l'Angleterre de plus près est ce qui s'est passé à Ceylan, où le système britannique des livres, schellings et pences a été en 1869 remplacé par le système de la roupie avec division décimale. Le changement complet s'est effectué en six mois, et bien peu de temps après le vieux système était aussi bien oublié que s'il n'eût jamais existé. On peut encore citer comme exemple la facilité avec laquelle les

émigrants irlandais qui arrivent au Canada ou aux États-Unis s'assimilent le système de la monnaie décimale.

L'auteur examine longuement les moyens par lesquels on pourrait atténuer la perte de 4 0/0 qui résulterait pour les petites divisions pour un certain nombre de cas, tels que les timbres-poste, les billets de chemin de fer à faible parcours, etc. Nous ne le suivrons pas sur ce terrain trop spécial et passerons à l'examen de la question des poids et mesures.

(A suivre.)

La population des États-Unis. — D'après le compte rendu de l'administration du recensement, la population des États-Unis était au 1er juin 1890, de 62 622 250 personnes, non compris les habitants des territoires indiens, les Indiens résidant sur les territoires réservés et l'Alaska ; si on tient compte de ces derniers éléments, on peut évaluer à 63 000 000, en nombre rond, la population totale des États-Unis.

L'accroissement pour la décade 1880-90 a été de 24,86 0/0. L'accroissement avait été de 30,08 pour la période précédente 1870-80. Cette diminution de 5 0/0 dans l'accroissement s'explique d'abord par le fait que le recensement de 1870 était très incomplet dans les États du Sud à la suite de la guerre et qu'il en est résulté une exagération de l'accroissement de la période 1870-80. Mais en dehors de cette explication, on conçoit que les accroissements successifs de population suivent une loi décroissante, en dehors des perturbations occasionnées par les guerres, les épidémies, l'émigration, etc. Il est vrai qu'aux États-Unis, l'immigration est un élément qui modifie continuellement la loi normale de l'accroissement et de l'effet duquel il est très difficile d'apprécier le rôle. Il est intéressant de noter que, en 1780, époque du premier recensement, la population des États-Unis (tels qu'ils étaient à cette époque) n'était que de 3 000 000 d'habitants ; elle atteignait 10 000 000 en 1820 et 32 000 000 en 1869. Elle a donc doublé depuis cette dernière date, c'est-à-dire en vingt ans.

COMPTES RENDUS

SOCIÉTÉ D'ENCOURAGEMENT POUR L'INDUSTRIE NATIONALE

Liste des membres titulaires, honoraires et correspondants du Conseil d'administration pour l'exercice 1891.

État financier. — Rapports sur les comptes.

Rapport de M. J. Farcot sur la **chaudière** de M. F. Le Moat.

Cette chaudière se compose d'un caisson rectangulaire formé de deux plaques parallèles et peu distantes l'une de l'autre et réunies par une enveloppe périphérique et par une quantité de tubes courts. Au-dessus de ce générateur est un réservoir de vapeur cylindrique relié par trois tubulures. La chaudière est placée dans un foyer rectangulaire.

Le rapporteur a expérimenté un générateur de ce système de 10,5 m^2 de surface de chauffe, timbré à 12 *kg*. On a obtenu une vaporisation moyenne de 38,2 *kg* par mètre carré de surface de chauffe et de 5,15 *kg* par kilogramme de combustible (briquettes). Cette faible vaporisation est une conséquence de la grande production par mètre carré.

Quoi qu'il en soit, cette chaudière est d'une construction simple et économique, elle présente une très grande sécurité pour les pressions élevées ; elle peut rendre des services, notamment dans les cas où on a peu de place. Le poids de l'appareil n'est que de 1 100 *kg* environ et son volume de 540 dm^3 pour une production de vapeur de 300 à 400 *kg* à l'heure.

Rapport de M. A. Tresca sur le **robinet à repoussoir** de M. Émile Chastel.

Dans ce robinet, comme dans la plupart du même genre, la clé porte un excentrique qui repousse une soupape garnie de caoutchouc. On a généralement une fermeture brusque qui produit un coup de bélier. Pour éviter cet inconvénient en ralentissant la période de fermeture, M. Chastel dispose sur la tige de la soupape un petit piston sur lequel l'eau agit de manière à n'exercer sa pression que sur une surface différentielle très réduite. On a donc une fermeture progressive qui supprime le coup de bélier ordinaire.

Communication sur les **projections stéréoscopiques**, par M. Davanne.

M. d'Almeida, professeur de physique, avait employé, il y a une vingtaine d'années, des projections donnant aux spectateurs l'impression du relief produit par le stéréoscope.

On connaît le principe du stéréoscope ; il exige que les deux images soient à la distance nécessaire pour la perception du relief. On ne peut pas réaliser la superposition des deux images avec les projections. Il faut

donc, par un dispositif spécial, lorsque les deux vues seront projetées l'une sur l'autre, que chaque œil du spectateur ne voie que celle qui lui correspond, l'autre se trouvant annulée ; on arrive à ce résultat par l'emploi de verres de couleur complémentaire, l'un rouge, l'autre vert.

Sur le passage des rayons lumineux qui vont former les images, on interpose pour l'une un verre vert, pour l'autre un verre rouge ; les vues sont encore confuses sur l'écran ; mais si on les regarde avec des lunettes armées de ces mêmes verres complémentaires, en ayant soin de faire correspondre les couleurs de verres de lunettes et celles des images et non de les alterner, on aura aussitôt la sensation du relief ; le verre vert annulant la couleur rouge ne laisse arriver à l'œil que l'image colorée en vert et inversement, et ces deux vues de couleurs complémentaires se superposant dans l'acte de la vision donnent une image unique de teinte neutre avec son effet de relief.

Communication de M. G. Richard sur la **carburation directe de l'acier,** procédé Darby.

Ce procédé, sans être encore tout à fait passé dans la pratique, a donné des résultats assez remarquables pour qu'il soit utile de le faire connaître.

Le principe en est que l'acier doux, peu carburé ou neutre, se carbure si on le met, à l'état fondu, en contact suffisamment intime et prolongé avec du charbon en morceaux ou en grains.

On opère en faisant couler l'acier liquide sur du charbon de bois convenablement concassé. Cette méthode est appliquée à Ruhrort aux usines du Phœnix à l'acier Bessemer. Ce système de recarburation permet d'éviter l'emploi du spiegel qui est coûteux.

Notice sur M. **Ed. Phillips,** par M. H. Leauté. (Extrait des *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, séance du 17 novembre 1890.)

ANNALES DES PONTS ET CHAUSSÉES

NOVEMBRE 1890.

Les ports d'Espagne. — Étude administrative et technique, par M. Eyriaud des Vergnes, Inspecteur général des ponts et chaussées. Deuxième partie.

La première partie de ce mémoire a paru dans les *Annales* du 1er semestre de 1890 (voir Comptes rendus de juillet 1890, page 186). Cette seconde partie contient l'étude des ports de Barcelone, Tarragone, Valence, Alicante, Carthagène, Malaga, Cadix, Séville et Guadalquivir, Huelva, Gijon, Santander, Bilbao, Saint-Sébastien et Pasages.

Pour chacun de ces ports sont examinées les questions suivantes : commerce, taxes locales, police du port, junte des travaux, ouvrages extérieurs, ouvrages intérieurs, outillage et exploitation, conservation des profondeurs, plus les questions spéciales au port, s'il s'en trouve.

Les conclusions de cet important mémoire, dont nous devons nous borner à signaler simplement le contenu, sont favorables aux dispositions particulières qu'on rencontre dans les ports d'Espagne, telles par exemple que les taxes locales et les juntes de travaux, tout en constatant qu'il ne s'ensuit nullement que ces dispositions seraient utilement applicables en France, où les conditions sont tout à fait différentes. Les taxes locales très lourdes ont permis de créer des ports qui n'existeraient pas sans elles ; mais, à l'exception de Bilbao, où la présence de mines presque inépuisables constituait un avantage unique, ce système impose aux travaux une lenteur extrême. Elles amènent de plus un renchérissement notable des produits pour le consommateur.

Le système des juntes de travaux est possible en Espagne où les mœurs ont, depuis les temps anciens, fait jouer un grand rôle aux corporations locales et où la population possède des habitudes d'esprit essentiellement éprises de liberté, mais en même temps respectueuses de l'autorité supérieure. C'est ce qui explique pourquoi il ne se produit que très rarement entre ces juntes et les administrations publiques des conflits qui, ailleurs, seraient probablement à l'état permanent.

Un fait particulièrement intéressant est le système de concession appliqué à un port entier. Il n'en existe qu'un exemple, celui de Pasages. Il est séduisant et montre très nettement la puissance de l'initiative privée pour créer quelque chose là où il n'y a rien. Il est vrai que les conditions étaient particulièrement favorables puisque par la configuration du terrain, la nécessité, au moins immédiate, d'ouvrages extérieurs se trouvait écartée. Néanmoins l'auteur est d'avis que le système de concession, soit pour la création, soit pour la transformation d'un petit port, pourrait être accordée avec avantage en France si elle était demandée. Cette conclusion, tendant à ouvrir à l'industrie privée l'accès d'un domaine jalousement défendu jusqu'ici, nous paraît devoir être particulièrement signalée.

Décembre 1890.

Note sur le **nouveau pont de Rouen,** par M. G. Cadart, Ingénieur des ponts et chaussées.

Ce pont, commencé en 1885, a été terminé en 1888 ; il a remplacé le pont suspendu devenu insuffisant pour les besoins de la circulation. Cet ouvrage est à arcs métalliques en acier reposant sur des piles et culées en maçonnerie. La longueur totale est de 176,30 *m* entre les culées, dont 154 pour la traversée du fleuve. Les travées ont respectivement 40, 48,80 et 54,60 *m* d'ouverture avec des flèches variant de 2,50 à 4,87 *m*. La largeur du pont est de 20 *m* dont 14 *m* de chaussée pavée et deux trottoirs de 3 *m*. Il y a neuf arcs parallèles dont cinq sous chaussée, deux sous trottoirs et deux arcs de rive. Les travaux, dont la dépense a été partagée par moitié entre l'Etat et la ville de Rouen, ont coûté, y compris la démolition de l'ancien pont suspendu, 2 900 000 *f*. Le prix ressort ainsi à 16,449 *f* le mètre courant et 822 *f* le mètre carré. Les travaux métalliques ont été exécutés par la Compagnie de Fives-Lille. Le calage des arcs, dont la section a la forme d'un double T, s'effectue en trois endroits, à la clé et aux deux naissances.

Les épreuves par poids mort ont été faites avec une surcharge de 340 *kg* par mètre carré ; les flèches ont été déterminées par un nivellement en prenant les points de repère sur les maçonneries des piles et culées. Les flèches observées ont différé d'une manière très considérable des flèches calculées, ce qu'on doit attribuer d'une part à la difficulté de constater exactement la température du métal, de l'autre à des mouvements pris par les piles sous l'action des variations de poussées.

Les épreuves par charges roulantes ont été effectuées avec trois lignes de quatre chariots chacune, ceux de la ligne du milieu du poids de 16 *t* et ceux des deux autres lignes du poids de 11 *t*.

Les flèches n'ont été mesurées que sur une seule travée, la plus grande. On a opéré au moyen d'une passerelle très légère formée de madriers avec suspension en fils de fer, sur laquelle se déplaçait, sous l'action d'un treuil, un chariot portant le papier sur lequel se traçait la courbe de l'abaissement des arcs sous l'action de la charge en mouvement.

Le mémoire entre dans quelques considérations sur l'emploi de l'acier qui a été fait au pont de Rouen, emploi qui a été proposé par M. l'Ingénieur en chef Lavoinne à cause de l'importance des efforts qui devaient se développer en raison du fort surbaissement qu'on était conduit à donner aux arcs et de l'économie qui devait résulter de la substitution de l'acier au fer.

L'auteur estime que l'économie réalisée a été d'environ 14 0/0 du prix de la partie métallique, soit 2 0/0 du prix total de l'ouvrage, économie compensée en partie par l'augmentation de l'amplitude des vibrations. L'acier employé a donné en moyenne 53 *kg* de résistance à la rupture, 21,3 0/0 d'allongement et 27,5 *kg* de limite d'élasticité. Les rivets étaient tous en fer. L'acier ne travaille pas à plus de 10 *kg*.

L'éclairage électrique à l'usine municipale de Paris, par M. F. Meyer, Ingénieur des ponts et chaussées.

L'usine municipale est installée dans le sous-sol des Halles centrales. La surface totale dépasse 2 000 m^2, mais on n'en utilise jusqu'ici que 6 à 700.

Il y a six générateurs Belleville groupés deux à deux. Ces générateurs ont environ 80 m^2 de surface de chauffe chacun et sont timbrés à 15 *kg*. Les produits de la combustion sont évacués dans une cheminée de 3,20 *m* de diamètre à la base et 1,90 *m* au sommet, qui s'élève à 39 *m* au-dessus du pavé. Cette cheminée peut desservir un nombre de générateurs double de celui qui est actuellement en service.

Les moteurs appartiennent pour moitié au système Weyher et Richemond et pour moitié au type Lecouteux et Garnier. On a cherché à avoir ainsi des moteurs à vitesse moyenne capables d'actionner directement les dynamos et en même temps des machines d'une parfaite régularité de marche.

Les machines Weyher et Richemond sont à triple expansion du type vertical à pilon. Elles ont deux grands cylindres, un moyen et un petit, ces deux derniers placés en tandem au-dessus des grands. Les pompes à air sont mues par des cylindres à vapeur indépendants. Ces machines ont une vitesse normale de 160 tours par minute.

Les machines Lecouteux et Garnier sont monocylindres du type Corliss à quatre distributeurs sans déclic et à condensation ; elles tournent à 180 tours par minute.

Les générateurs d'électricité appartiennent aux types Edison et Ferranti. Il y a six dynamos montées par deux sur les trois machines Weyher et Richemond et trois dynamos Ferranti actionnées chacune par un moteur Lecouteux et Garnier.

L'exploitation a commencé au 1er décembre 1889 ; l'usine n'a d'abord éclairé que les Halles, mais elle dessert actuellement un certain nombre d'abonnés. Elle peut disposer de 180 000 watts en courant continu et de 200 000 à courant alternatif. Sur cette quantité les Halles absorbent 94 000 et les abonnés 66 000 sur le premier réseau et 131 000 sur le second, représentant au total 2 723 lampes dont 151 à arc et 2 572 à incandescence.

Les frais d'établissement se sont élevés à 1 130 000 *f*, dont 394 000 *f* pour les machines, 455 000 pour les canalisations et appareillage et le reste pour les maçonneries, aménagements divers, etc. La partie mécanique et électrique correspondant à 960 chevaux nominaux ressort à près de 400 *f* par cheval.

SOCIÉTÉ DE L'INDUSTRIE MINÉRALE

District du Sud-Est

Séance du 9 novembre 1890.

Communication de M. Arnal sur une **explosion de cuve de distillation** d'huile lourde de goudron.

Cette explosion s'est produite à Bessèges dans une cuve à la partie supérieure et à l'intérieur de laquelle on avait installé une lampe à incandescence pour éclairer le dedans dans le but de surveiller la marche de la distillation.

Il n'y a aucun doute que l'inflammation des vapeurs ait été produite par la lampe électrique, bien que le bris de cette lampe ne s'explique pas bien.

Compte rendu par M. Garreau d'un ouvrage intitulé « **l'Acier** », par M. Campredon

Communication de M. Lombard sur le **percement rapide des galeries en rocher.**

Il s'agit des résultats obtenus à Bessèges avec la méthode décrite dans une précédente séance, sur un travers-bancs ayant 2,60 *m* de largeur sur 2 *m* de hauteur. On a constaté que l'avancement est doublé, ayant été de 40,55 *m* par mois contre 16,40 pour l'ancienne méthode, que la main-d'œuvre totale est réduite de moitié, mais qu'à cause de l'augmentation de dépense des explosifs, le prix de revient total du mètre reste sensiblement le même. Dans ces conditions, l'avantage de la rapidité de l'avancement reste acquis entièrement.

District du Nord

Séance du 16 novembre 1890.

Communication de M. de Quillacq fils sur **la détente Ridder**, appliquée à des machines d'extraction horizontales.

On sait que la détente variable du système Ridder est caractérisée par l'emploi d'un second tiroir cylindrique et portant des barrettes hélicoïdales en rapport avec des orifices de même forme pratiquées dans le dos du tiroir principal. Le tiroir de détente a un mouvement alternatif suivant son axe, mais en même temps il peut tourner autour de ce même axe, de manière à varier la détente par la modification des recouvrements.

Dans la disposition présentée par M. de Quillacq, il y a un tiroir à chaque extrémité du cylindre, ces tiroirs sont verticaux et cylindriques placés l'un dans l'autre. On a ainsi des distributeurs équilibrés avec lesquels le changement de marche à la main devient très facile.

Ce système est appliqué sur une marche d'extraction à deux cylindres de 1 *m* de diamètre et 1 600 *m* de course en construction pour les mines d'Anzin.

Note de M. Breton sur la **composition de l'étage carbonifère dans le Bas-Boulonnais.**

D'un certain nombre de considérations. il semble résulter que la composition du bassin d'Hardinghem diffère essentiellement de celle du grand bassin du Pas-de-Calais et que, contrairement à l'opinion de divers géologues, il est difficile d'assigner la même date de formation aux étages carbonifères de ces deux bassins, lesquels, par conséquent, n'ont jamais dû être en communication.

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS ALLEMANDS

N° 6. — 7 *février* 1891.

Chemin de fer souterrain à Londres, par L. Troske.

Distribution de force par l'air comprimé à Paris, par A. Riedler (*suite*).

Voyage d'un torpilleur russe de Pillau à Sébastopol.

Nouvelles machines-outils à travailler le bois, par H. Fischer.

Constructions navales. — Le yacht à vapeur *Lady Torfrida*, par A. Schmidt.

Le Dr Nicolas-Auguste Otto (inventeur de la machine à gaz de ce nom).

Bibliographie. — Catéchisme de l'exploitation des mines, par S. Kohler.

Variétés. — Installation de transport postal pneumatique à la gare centrale des marchandises, à Stettin. — Cheminée de 140 *m* de l'usine royale de Halsbrucken près Freiberg, en Saxe. — Barrage de Crystal-Spring, près de San-Francisco.

N° 7. — 14 *février* 1891.

Chemin de fer souterrain à Londres, par L. Troske.

Distribution de force par l'air comprimé à Paris, par A. Riedler *(fin)*.

Nouvelles dispositions de chaudières de locomotives, par A. Franck.

Mines. — Prévention des explosions de poussières de charbon, par Walther.

Groupe de Francfort. — Phénomènes de capillarité.

Variétés. — Les écoles techniques supérieures de l'empire allemand pendant le semestre d'hiver 1890-91. — Voies avec contre-rails. — Concours. — Association des chaudières à vapeur de Magdebourg.

Correspondance. — Ruptures de machines à vapeur. — Distribution de force par l'air comprimé.

N° 8. — 21 *février* 1891.

Distribution d'eau de Kœnigsberg, par G. Becker.

Les machines de l'industrie textile à l'Exposition universelle de 1889, à Paris, par G. Rohn *(suite)*.

Chauffage et ventilation, par H. Fischer.

Groupe de Cologne. — L'air comprimé et ses applications.

Groupe du Rhin inférieur. — Chaudières sans armatures pour locomotives. — Transmission électrique pour pompes. — Coussinets à galets pour arbres tournants.

Variétés. — Vapeur à roues *Mana*. — Résumé des opérations de l'administration des patentes d'invention depuis 1877.

N° 9. — 28 *février* 1891.

Distribution d'eau de Kœnigsberg, par G. Becker *(suite)*.

Les machines de l'industrie textile à l'Exposition universelle de 1889, à Paris, par G. Rohn *(suite)*.

Machine compound verticale de 120 *ch.*, par F. Beyer.

Machines-outils. — Machine à travailler les métaux, par H. Fischer *(suite)*.

Accident occasionné par l'alun, par le Dr C. Thiel.

Appareils pour le chargement et le déchargement des navires, par A. Schmidt.

Groupe de Thuringe. — Distribution de force par l'air comprimé.

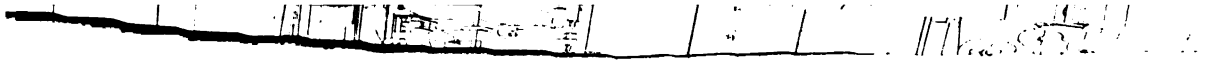
Bibliographie. — Manuel de construction de Breymann, par O. Koniger.

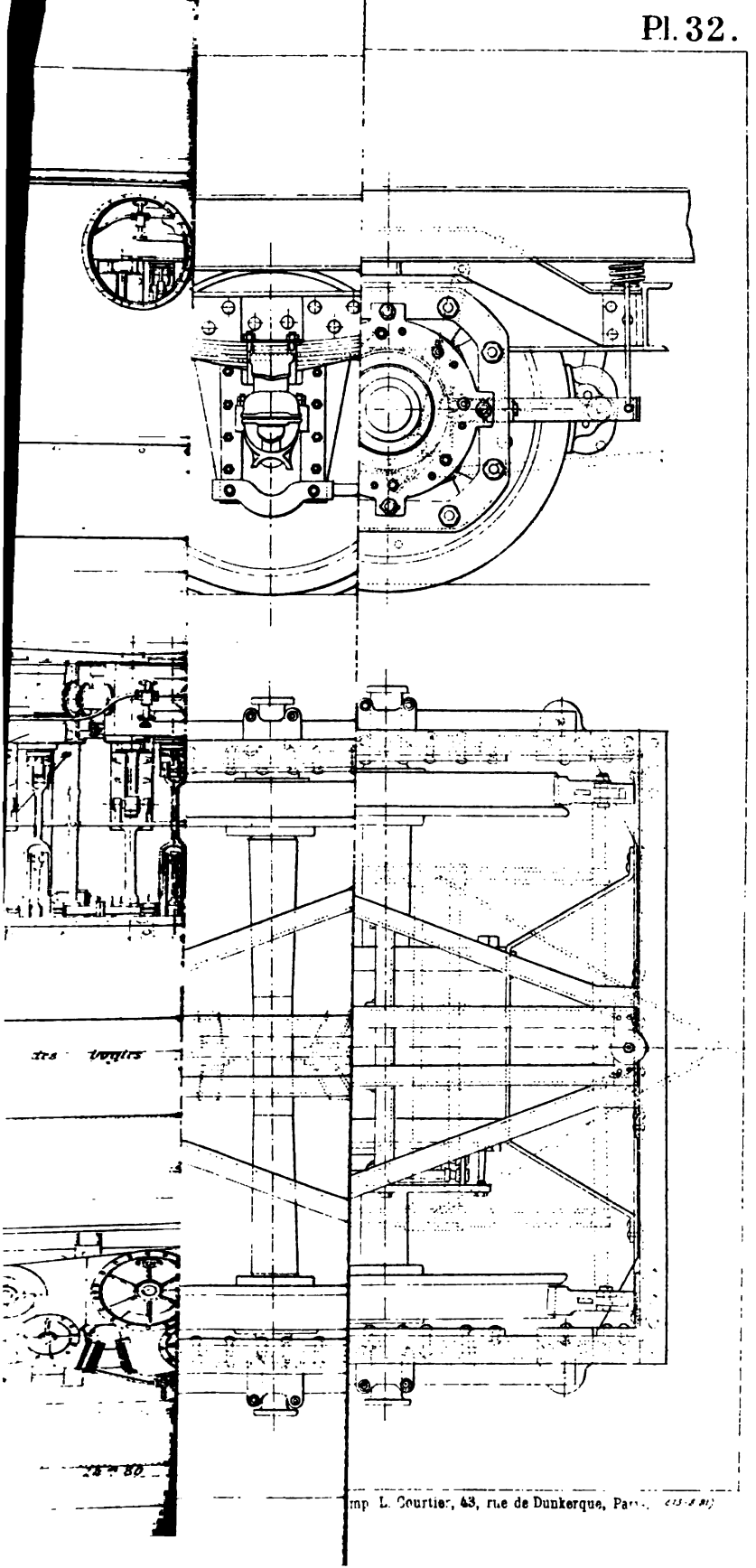
Variétés. — Le gaz naturel aux États-Unis. — Nettoyage des égouts des villes. — Concours pour l'utilisation de la force motrice du Niagara.

Correspondance. — Rupture des machines à vapeur. — Emploi du ciment pour arrêter les fuites dans les chaudières à vapeur.

Pour la Chronique et les Comptes rendus,
A. Mallet.

PARIS. — IMPRIMERIE CHAIX, 20, RUE BERGERE. — 5162-2-91.





Imp L. Courtier, 43, rue de Dunkerque, Par...

MÉMOIRES

ET

COMPTE RENDU DES TRAVAUX

DE LA

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS

MARS 1891

N° 3.

Sommaire des séances du mois de mars 1891 :

1° *Décès* de MM. Vasset, Jauge, H. Love et Sévry (Séances des 6 et 20 mars), pages 190 et 203 ;

2° *Matériel fixe à l'Exposition de 1889*, lettre de M. H. Mathieu, président de la Commission (Séance du 6 mars), page 191 ;

3° *Dons de bons provenant de l'emprunt de 75 000 francs* (Séances des 6 et 20 mars), pages 191 et 204 ;

4° *Exposition à Budapest*, page 191 ;

5° *Congrès géologique international*, à Washington (Séance du 6 mars), page 192 ;

6° *Statuts* (Modifications aux), (Séance du 6 mars), page 192 ;

7° *Résultats des études et sondages faits pendant l'année 1890 dans la Manche, en vue du projet d'établissement d'un pont traversant la Manche*, par M. G. Hersent (Séance du 6 mars), page 192 ;

8° *Anthexiмètre (L')*, par M. E. Petit (Séance du 6 mars), page 194 ;

9° *Maximum théorique du rendement direct et absolu des machines à vapeur*, par M. D.-A. Casalonga (Séance du 6 mars), page 195 ;

10° *Notes de voyage dans l'Amérique du Nord et au nouveau district de Sudbury (Canada), platine, or, cuivre, nickel*, par M. J. Garnier (Séance du 6 mars), page 197 ;

11° *Discours de M. le Ministre des Travaux publics* (Séance du 20 mars), page 201 ;

12° *Discours de M. E. Polonceau*, Président de la Société (Séance du 20 mars), page 200 ;

13° *Discours de M. A. Brüll* (Séance du 20 mars), page 203 ;

14° *Décorations* (Séance du 20 mars), page 203 ;

15° *État de la question de l'unification des méthodes d'essais des matériaux*, par M. L.-A. Durant (Séance du 20 mars), page 204 ;

16° *Nouvelle méthode de fabrication des tubes en fer*, par M. J.-B. Chaussegros (Séance du 20 mars), page 206 ;

17° *Industrie des câbles sous-marins*, par M. E. Vlasto (Séance du 20 mars), page 207 ;

18° *La question ouvrière dans les pays étrangers* (d'après les documents récents), par M. E. Gruner (Séance du 20 mars), page 209.

Pendant le mois de mars 1891, la Société a reçu :

32042 — De M. H.-V. Ahrbecker. *Minutes of Proceedings of the Engineering Association of new south wales*, vol. IV, 1888-89. In-8. Sydney, 1889.

32043 — De M. G.-M. Wheeler. *Report upon United States geographical Survey*, vol. I, 1889. Washington Government Printing office, 1889.

32044 — De M. A. Laussedat (M. de la S.). *Les applications de la perspective au lever des plans*. In-8 de 34 pages. Paris, Gauthier-Villars, 1890.

32045 — De M. A. Schlumberger. *Conférence sur les billets de banque, les papiers fiduciaires et leur fabrication*. Petit in-8 de 53 pages. Paris, *Moniteur Industriel*, 1890.

32046 — De M. Hersent (M. de la S.). *Pont sur la Manche, Second mémoire justificatif de la demande en concession déposée par « The Channel Bridge and Railway Company »*. Petit in-4 de 80 pages avec planches. Paris, Chaix, 1891.

32047 — De l'Observatoire de Mexico. *Estadistica del Ramo criminal de 1871 à 1885 de la Republica Mexicana*. Petit in-4 de 1,075 pages. Mexico, Secretaria de Fomento, 1890.

32048 — De M. A. Delonchant (M. de la S.). *Etude sur la locomotive pour tramway*. Petit in-4 de 20 pages avec planches. Paris, Aost et Gentil, 1890.

32049 — De l'*Association française pour l'avancement des sciences. Compte rendu de la 19e session, Limoges 1890, 1re partie*. Paris, G. Masson, 1890.

32050 — Du Ministère des Travaux publics. *Album de statistique graphique de 1889*. Petit in-4. Paris, Imprimerie Nationale, 1890.

32051 — Du Government of Bengal. *Revenue Report of the Public Works Department Irrigation Branch Bengal for the year 1889-1890*. Calcutta, 1891.

32052 — Du Comité des Forges de France. *Proposition de loi sur l'assurance mutuelle obligatoire, son organisation et son fonctionnement*. In-8 de 13 pages. Bar-le-Duc, Contaut-Laguerre, 1891.

32053 — Du même. *Proposition de loi concernant la responsabilité des accidents dont les ouvriers sont victimes dans leur travail.* In-8 de 18 pages. Bar-le-Duc, Contaut-Laguerre, 1891.

32054 — De M. E. Vlasto (M. de la S.). *Traité pratique de chimie métallurgique.* In-8 de 360 p. avec pl. Paris, Gauthier-Villars, 1891.

32055 à 32062 — Du Ministère des Affaires étrangères. *Recueils de Rapports sur les conditions du travail dans les pays étrangers.* 8 brochures in-8. Nancy et Paris, Berger-Levrault, 1890.

32063 — De M. A. Picard. *Rapports du jury international, Groupe I, œuvres d'art, classes 1 à 5 bis, Exposition universelle internationale de 1889 à Paris.* Grand in-8 de 248 pages. Paris, Imprimerie Nationale, 1891.

32064 — De M. Ed. Hertay. *Nouveau diagramme ou tracé graphique pour le calcul des machines à vapeur.* In-8 de 16 pages avec planches. Bruxelles, E. Ramlot, 1891.

32065 — De M. E. Belleroche. *Chauffage des trains sur les chemins de fer.* In-8 de 24 p. avec planches. Paris et Liège, C. Borrani, 1891.

32066 — De M. E. Gibon (M. de la S.). *La réforme sociale,* bulletin bi-mensuel. In-8. Paris, Librairie de la Société d'économie sociale.

32067 — De l'*United States coast and geodetic survey. Report of the superintendent for year 1888.* Washington, Government Printing Office, 1889.

32068 — De M. Ch. Cotard (M. de la S.). *Un Voyage à Merv.* (In-8 de 19 pages). Paris, Génie civil, 1891.

32069 — De M. Chapman par M. Vaslin (M. de la S.). *Report to the Board of trade on Profit-Sharing.* (Petit in-4 de 43 pages). London, Eyre and Spottiswoode, 1891.

32070 — Du même. *Decimal coinage, weights and measures popular explained.* Petit in-8 de 32 pages. New-York, Gillingham et Henry, 1890.

32071 — De M. J. Courau (M. de la S.). *Tarifs paraboliques et hyperboliques, nouvelle méthode d'unification des tarifs différentiels.* (In-8 de 34 pages). Paris, Génie civil, 1890.

32072 — De M. L.-F. Vernon-Harcourt. *Report on the Extension of the navigable Channel of the Ribble to the sea.* (Petit in-8 de 20 pages avec planches). Southport, R. Johnson, 1891.

32073 — De J.-D. Campbell. *China Imperial maritime Customs. List of the Chinese lighthouses for 1891.* (Petit in-4). Shanghaï, 1891.

32074 — De l'*Institution of Engineers and Shipbuilders in Scotland. Transactions, vol. XXXII, 1888-89.* Glascow, 1890.

32075 — Du *Canadian Institute. Transactions n° 1, vol. I, octobre 1890.* Toronto.

32076 — De M. F. Meyer. *L'Éclairage électrique à l'usine municipale de Paris.* (In-8 de 68 pages avec planches). Paris, Veuve Ch. Dunod, 1890.

32077 — Des Usines du Creusot. *Les cuirasses du Creusot et les cuirasses compound.* (In-8 de 66 pages). Paris, E. Plon, Nourrit et Cie, 1891.

32077 *bis* — De M. J.-H. Delaunay (M. de la S.). *Tarifas y reglemento del servicio de explotacion del puerto de Pasajes.* (In-12 de 17 pages). San Sebastien, J.-R. Baroja, 1891.

32078 — De M. B. Tignol. *Revue générale de mécanique appliquée*, publication industrielle d'Armengaud aîné. Nouvelle série, tome I, janvier 1891. Publication mensuelle grand in-4. Paris, Bernard Tignol, 1891.

32079 — De M. L. Vigreux (M. de la S.). *Ville d'Annecy. Projet d'alimentation d'eau de la ville de Lyon par le lac d'Annecy. Rapports de M. L. Vigreux.* (In-8 de 19 et de 12 pages). Annecy, Hérisson et Cie, 1891.

32080 — De M. A. Gouvy (M. de la S.). *Das Berg- und Hüttenwesen auf der Pariser weltausstellung 1889.* (In-8 de 82 pages). Wien, Manz'sche, 1891.

32081 — Du Navy Department. *Annual Register of the United States Naval Academie Annapolis.* (In-8 de 84 pages). Washington, Government Printing Office, 1891.

32082 — De l'Observatoire de Mexico. *Tablas psycrometricas calculadas par la altura de Mexico*, de Zendejas. Mexico, Secretaria de Fomento, 1889.

32083 — De M. Mourgues. *Statuts de la Chambre syndicale des Propriétés immobilières de la ville de Paris.* (Petit in-8 de 16 pages). Paris, Ed. Vert, 1891.

32084 — De M. le Ministre des Travaux publics. *Statistique de l'industrie minérale pour l'année 1889.* Paris, Imprimerie Nationale, 1891.

32085 — De la Chambre syndicale de la Marine. *La Batellerie et le projet de création de chambres régionales de navigation intérieure.* (Grand in-8 de 71 pages). Paris, P. Dubreuil, 1891.

32086 — De M. J. Fleury (M. de la S.). *A propos du tarif des douanes.* (In-8 de 84 pages). Paris, Express-finance, 1891 (30 exempl.).

MÉMOIRES ET MANUSCRITS

2102 — De M. Heilmann (M. de la S.). *Nouveau Système de chemin de fer électrique.*

2103 — De M. Chaudy (M. de la S.). *Nouvelle Méthode de calcul des poutres continues.*

2104 — De MM. Cerbelaud et Bobin (M. de la S.). *Notice nécrologique sur M. H. Love.*

2105 — *Rapport de la Section chargée d'étudier le matériel fixe des chemins de fer à l'Exposition universelle de 1889.*

2106 — De M. C. Jouffray (M. de la S.). *Note sur les Conditions économiques actuellement réalisables dans les machines à vapeur.*

2107 — De M. D.-A. Casalonga (M. de la S.). *Du rendement mécanique direct et absolu de la machine à vapeur.*

2108 — De M. J. Garnier (M. de la S.). *Mines de nickel, cuivre et platine du district de Sudbury (Canada).*

2109 — De M. Durant (M. de la S.). *Note sur l'Unification des méthodes d'essais des matériaux.*

2110 — De M. Spiral (M. de la S.). *Note sur l'Aluminium et ses alliages.*

2111 — De M. Vlasto (M. de la S.). *L'Industrie des câbles sous-marins.*

2112 — De M. Gruner (M. de la S.). *La Question ouvrière dans les pays étrangers, d'après les documents récents.*

2113 — De M. J. Paraire. *Note sur le Maximum de rendement de la machine à vapeur.*

Les membres nouvellement admis pendant le mois de mars sont :

Comme membres sociétaires, MM. :

Ch.-E. Amblard,	présenté par MM.	Contamin, Donon, Baudet.
C.-E. Dupriez,	—	Contamin, Forest, Cossmann.
J.-F. Gaudry,	—	Mallet, Carimantrand, Lévi.
L.-F. Hennequin,	—	Gauthier, Remaury, Gruner.
E.-J.-A. Hennerick,	—	Charton, Ch. Herscher, A. Tresca.
P. Jannettaz,	—	Trélat, de Nansouty, Tisseron.
Ch.-E. Wehrlin,	—	A. Moreau, E. Coignet, Périssé.

Comme membre associé, M. :

H. G. Vaultier, présenté par MM. Guédon, Braun, Delaloë.

RÉSUMÉ

DES

PROCÈS-VERBAUX DES SÉANCES

DU MOIS DE MARS 1891

Séance du 6 mars 1891

PRÉSIDENCE DE M. E. POLONCEAU.

La séance est ouverte à huit heures et demie.

Le procès-verbal de la dernière séance est adopté.

M. LE PRÉSIDENT a le profond regret d'annoncer le décès de trois de nos collègues, MM. Vasset, Jauge et Henri Love.

M. Vasset (Louis), membre de la Société depuis 1876, et ancien élève de l'École des Arts et Métiers d'Aix, était bien connu par ses nombreuses entreprises de travaux publics ; en dernier lieu, il avait été chargé de la construction des forts de la Meuse par le gouvernement belge.

M. Jauge (Amédée), membre de la Société depuis 1877, était sorti de l'Ecole Centrale en 1841. Après avoir été Ingénieur aux chemins de fer d'Amiens à Boulogne, de Paris au Havre, de Dieppe à Fécamp, il s'était occupé de métallurgie et avait été directeur de hauts fourneaux et de forges en Espagne.

La perte de ces deux collègues sera vivement ressentie par tous ceux qui les connaissaient.

Enfin, M. Henri Love, fils de notre estimé et ancien Président, vient d'être enlevé à l'affection de sa famille.

M. CERBELAUD a la parole et, en termes émus, retrace rapidement la vie de notre excellent et regretté collègue.

Cette notice sera insérée *in extenso* au Bulletin.

M. LE PRÉSIDENT se fait l'interprète de la Société en envoyant à la famille de M. Henri Love l'assurance des sentiments de douloureuse sympathie de tous ceux qui, de près ou de loin, connaissaient M. Henri Love.

M. LE PRÉSIDENT, parmi les ouvrages et travaux reçus, signale le *Rapport de la section chargée d'étudier, à l'Exposition de 1889, le matériel fixe des chemins de fer.*

Il est, à ce sujet, donné lecture de la lettre suivante de M. Mathieu :

« Paris, le 4 mars 1891.

» MONSIEUR LE PRÉSIDENT,

» J'ai l'honneur de vous remettre le rapport que la Section du Matériel fixe à l'Exposition de 1889, nommée par le Comité de la Société, a rédigé sur cette matière.

» Notre tâche, qui a été longue et laborieuse, a été, il est vrai, facilitée par les notices déposées, par les diverses Compagnies et Sociétés de chemins de fer, à l'appui de chaque exposition partielle ; mais, si notre tâche a été longue et laborieuse, cela tient surtout à la grande multiplicité des engins, organes et ensembles du matériel des voies exposés.

» La Section croit avoir tout examiné, et, bien que depuis la fermeture de l'Exposition, beaucoup d'articles, de notes et de publications diverses aient été répandus, nous avons voulu, néanmoins, remplir jusqu'au bout la mission qui nous avait été confiée, et nous nous sommes alors donné pour objectif spécial de faire ressortir, autant que possible, pour chaque engin et pour chaque appareil nouveau de quelque importance, le but pour lequel il avait été construit et la solution originale qu'il présentait.

» Tous les membres de la Section qui ont assisté à nos réunions ont puissamment aidé à la réalisation de ce programme, et je ne saurais trop signaler parmi eux M. Bouissou, Ingénieur du chemin de fer de l'Ouest, et M. Forest, Ingénieur du chemin de fer du Nord, dont la haute compétence en ce qui touche le matériel fixe, nous a permis de faire sortir de notre travail un intérêt spécial.

» Enfin, la préparation des éléments de ce rapport, pour sa discussion dans nos réunions, qui a exigé la lecture des nombreux mémoires, notes et documents déposés, comme aussi la rédaction du rapport définitif, ont demandé beaucoup de soins, de temps et de travail.

» C'est là ce qu'a fait M. Taconnet, Ingénieur de la Compagnie des chemins de fer du Sud de la France, choisi comme rapporteur de la Section, et qui s'est acquitté de sa mission avec un grand zèle et un grand dévouement. Pour ma part, je l'en remercie sincèrement, comme aussi je remercie tous les collaborateurs de la Section du concours qu'ils ont bien voulu nous apporter, et dont le travail, je le désire, sera apprécié par les membres de la Société.

» Veuillez agréer, je vous prie, Monsieur le Président, l'assurance de ma considération la plus distinguée.

» *Le Président de la Section,*
» Signé : H. MATHIEU. »

M. LE PRÉSIDENT a le plaisir d'annoncer que notre collègue, M. A. Dubois, a fait abandon d'un bon souscrit par lui.

M. LE PRÉSIDENT annonce que la Chambre de commerce austro-hongroise informe la Société qu'une Exposition industrielle d'ouvrages en poterie, bitume, pierre et ciment, ainsi que de machines d'outils se rattachant à ces industries, aura lieu à Budapest du 15 mai au 30 juin prochain.

M. LE PRÉSIDENT rappelle qu'à la fin d'août 1892 aura lieu à Washington la cinquième session du Congrès géologique international. Un délégué sera désigné parmi nos collègues américains pour représenter la Société à cette réunion. Des renseignements sont déposés à ce sujet au Secrétariat.

M. LE PRÉSIDENT annonce qu'une proposition de modification aux Statuts, relative à la question des exonérations et signée d'un certain nombre de nos collègues, vient d'être déposée sur le bureau.

Conformément aux articles 128 et suivants du règlement, M. le Président met aux voix la prise en considération de cette proposition.

La prise en considération étant votée, il est procédé à l'élection de la Commission chargée de faire l'étude de cette modification.

Sont nommés : MM. Charton, Couriot, Mayer, Simon et Bert.

M. LE PRÉSIDENT donne la parole à M. Georges Hersent, pour exposer le *Résultat des études et sondages faits pendant l'année 1890 dans la Manche, en vue du projet d'établissement d'un pont traversant la Manche.*

M. G. HERSENT dit qu'en raison de ce que les avant-projets du « Pont sur la Manche » ont déjà donné lieu à d'intéressantes discussions au sein de la Société, il a cru devoir communiquer les résultats des sondages faits au cours de l'été dernier et auxquels il a participé.

Le but de cette étude des fonds du pas de Calais était de fournir des renseignements complémentaires à la Commission d'Inspecteurs généraux des Ponts et Chaussées, nommée par M. le Ministre des Travaux publics.

Le programme de la mission, établi d'accord entre la Channel Bridge and railway C° et les auteurs du projet, consistait à faire :

1° Des sondages très précis dans les parties profondes du chenal français;

2° Des forages dans la zone du pont projeté, pour arriver à reconnaître exactement la nature géologique du sol, sa consistance, l'épaisseur d'alluvions qui la recouvre et sa résistance à l'écrasement;

Et 3° Une étude du régime des courants dans la section du détroit traversé par le pont.

La direction de ces travaux fut donnée, sur la désignation qu'avait bien voulu faire M. le Ministre de la Marine, à M. Renaud, Ingénieur hydrographe de la Marine.

Les opérations dans le chenal français ont été faites à bord de l'*Ajax* et dans le chenal anglais à bord du *Jubelee*, remorqueurs à vapeur sur lesquels on avait aménagé un treuil à vapeur pour faciliter la manœuvre des lignes et des appareils de sondage.

L'outillage employé avait été étudié et construit spécialement en vue de cette campagne, et il a donné de bons résultats.

Profondeur. — Entre le cap Gris-Nez et le banc du Colbart, les profondeurs trouvées sont un peu inférieures aux prévisions; elles n'atteignent 55 *m* que sur une longueur de 5 500 *m*, puis remontent.

Dans la région des bancs, entre le Varne et le Colbart, les profon-

deurs varient de 28 à 30 *m;* dans le chenal anglais, les fonds ne dépassent guère 25 *m.*

Les pentes les plus fortes sont de 67 *mm* par mètre sur les accores du Varne et du Colbart, ailleurs elles sont insensibles.

Résistance du sol. — Les forages ont permis de constater que le sous-sol est partout résistant et qu'il n'existe nulle part de vase molle ou d'argile. Les lances fines de 25 *mm* de diamètre avec 160 et 200 *kg*, descendant avec des vitesses de 7 à 8 *m* à la seconde, ne pénétraient guère plus de 0.25 *m* à 0,30 *m;* la plus grande pénétration fut de 0,50 *m* environ dans le terrain wealdien.

Voici, d'ailleurs, la suite des étages géologiques rencontrés en partant de la côte française : le *Kimmeridjien*, les trois assises du *Portlandien* et les sables ferrugineux du *Weald.*

Sur la côte anglaise on a rencontré toutes les assises infracrétacées jusqu'au wealdien; elles sont toutes suffisamment résistantes pour supporter la charge des piles.

Le Varne et le Colbart sont recouverts d'une couche de sable d'environ 2 *m*, et les hypothèses que l'on peut faire sur leur constitution en se basant sur la présence des terrains avoisinants font supposer que ces deux bancs sont dus à un soulèvement du *Portlandien* inférieur ou du *Portlandien* supérieur, qui sont des terrains très résistants.

Courants. — Les courants dans le détroit sont alternatifs, et ce sont des courants de masse (c'est-à-dire que le changement de courant se fait en même temps à la surface et au fond). Leur direction est celle des bancs, et la vitesse atteint 5 nœuds 5 pour le flot et 5 pour le jusant, avec des marées de coefficient 300.

Résumé. — La campagne a duré deux mois, en raison du mauvais temps qu'il a fait, surtout en juillet; pendant ce temps, nous avons eu quarante-deux jours de sorties en mer; on a pris 2 700 sondes, fait 400 forages et 12 tubages sur les bancs.

Il a été rapporté 148 échantillons de terrains bien caractérisés, qui ont été analysés et classés par M. Duchanoy, Ingénieur des Mines. L'étude des mêmes terrains sur les deux côtes a permis de se faire une opinion exacte sur leurs résistances relatives.

Conclusions. — Le tracé le plus avantageux dans la région explorée diffère peu de celui de l'avant-projet : il passe à 850 *m* au sud du phare de Gris-Nez et se dirige sur le Colbart au nord 59° ouest; sa plus grande profondeur est de 53 *m* ; puis il se dirige sur le Varne au nord 59° ouest et aboutit sur la côte anglaise près de Folkestone, au même point que celui de l'avant-projet. Sa longueur n'est que de 37 300 *m*, soit 1 300 *m* de diminution.

Si l'on examine le pas de Calais et que l'on cherche un deuxième tracé en dehors de la région des bancs, on voit que la plus courte distance entre la France et l'Angleterre est de 33 300 *m*. En cherchant dans cette région la ligne des plus faibles profondeurs, on peut tracer une ligne entre South-Foreland et le cap Blanc-Nez, où les fonds ne dépassent pas 51 *m.*

Ce tracé, plus au nord, serait rectiligne, les fondations se feraient sur un terrain de craie, toujours le même, très homogène et d'une résistance connue. Sa longueur n'excéderait pas 33 450 *m*.

Il y a donc maintenant deux tracés possibles, étudiés sur des bases solides, et ce grand projet paraît avoir fait un pas vers sa réalisation.

La Compagnie d'études du Pont sur la Manche vient de publier un mémoire sur ces travaux, et les personnes que la question intéresse pourront consulter à la Société les exemplaires qui y ont été déposés.

M. LE PRÉSIDENT remercie M. G. Hersent de cette intéressante communication, et ajoute que les noms de MM. Schneider et Hersent sont un sûr garant du sérieux et de la valeur des études faites en vue de la réalisation de ce grand projet.

M. É. PETIT a la parole pour présenter un appareil de mesure des résistances dit *antheximètre*.

(La communication de M. Petit sera insérée *in extenso* au *Bulletin*.)

M. LE PRÉSIDENT remercie M. Petit de sa communication. Il était intéressant d'avoir un appareil dont le principe fût fort simple pour déterminer dans quelles conditions le métal se déforme et dans quelles conditions se produit la rupture, et dont le prix peu élevé permît d'en répandre l'emploi dans l'industrie ; car aujourd'hui il n'y a pas d'usine un peu importante qui n'ait des appareils à essayer les métaux et ne s'en serve avec grand avantage.

M. PETIT avait oublié de dire que ces appareils peuvent servir, non seulement pour des essais de traction, mais aussi pour ceux à la compression ou à la flexion.

M. LE PRÉSIDENT donne la parole à M. D.-A. Casalonga pour sa communication sur *le maximum théorique du rendement direct et absolu des machines à vapeur*.

M. D.-A. CASALONGA se propose d'étudier quelques points relatifs à la machine à vapeur et à la théorie que Clausius en a faite à la brillante lumière de la thermodynamique, en la fondant sur le rapport $\frac{T_o - T_1}{T_o}$.

Ce rapport, tiré de considérations mal fondées, accepté, enseigné par tous les savants, est inexact.

En entreprenant d'en démontrer l'inexactitude, M. Casalonga réclame une bienveillante attention, mais point d'indulgence, se trouvant, s'il conteste à tort, digne de tous les blâmes, en raison de ce que son opinion n'a jamais été admise par personne jusqu'ici.

Il expose la méthode de calcul suivie par Clausius et fait ressortir la confusion qui a été faite entre des quantités de chaleur de valeurs différentes.

En passant, il expose également diverses considérations ayant pour objet de montrer que la notion que l'on s'est faite du zéro dit absolu, et la valeur qu'on lui a assignée, sont inexactes aussi.

La valeur — 273° ne convient qu'à une masse gazeuse refroidie à l'état

statique, par rayonnement, jusqu'à cette limite inférieure, où peut se produire un changement d'état, non une privation absolue de chaleur. Un autre zéro dit absolu, qui convient mieux au cas des machines thermiques, est celui qui résulte de la détente adiabatique et qui se place à — 112 ou — 116.

Pour faire pénétrer dans les esprits la conviction que le rapport $\frac{T_o - T_1}{T_o}$ est inexact, M. Casalonga a eu l'idée de recourir aux belles expériences de Regnault sur la vapeur d'eau, et il en a tiré un mode de détermination du rendement maximum direct d'une machine à vapeur, placée dans les conditions mêmes de fonctionnement établies par Clausius; et il montre que les rendements déterminés par cette méthode sont de beaucoup inférieurs à ceux résultant de l'application du rapport $\frac{T_o - T_1}{T_o}$. Il montre encore que ce rendement croît très peu avec la pression, à partir de 10 à 11 atmosphères.

De ce rendement maximum d'une machine idéalement parfaite, abstraction faite de l'enveloppe de vapeur et du réservoir intermédiaire, M. Casalonga déduit, dans tous les cas, en comptant sur un rendement de 70 0/0 pour la chaudière, quelles peuvent être les quantités minima d'un combustible donné, consommé par cheval-heure indiqué. Avec de la vapeur à 4,71 atmosphères et 150° de température, cette consommation ne pourrait être inférieure à 0,810 *kg* d'un charbon développant 9 500 calories sur la grille.

Par sa méthode, M. Casalonga distingue, aussi bien que par le diagramme relevé, qu'elle peut contrôler, le travail de pleine pression du travail de détente; et il montre qu'au travail de pleine pression correspond une quantité de chaleur qui a disparu de la chaudière sans qu'on l'ait jamais comptée. Il montre aussi que pendant la détente les calories disponibles se répartissent en calories correspondant au travail *externe* et en calories correspondant au travail *interne*, qui accroissent la chaleur latente. En même temps il fait voir que la loi de cette répartition est celle-là même tirée des capacités calorifiques de l'air à pression constante et à volume constant, et il voit là un moyen de vérification et de rectification, en recourant, au besoin, à l'hyperbole équilatère.

Pour ce qui concerne l'influence de l'enveloppe de vapeur et du réservoir intermédiaire, M. Casalonga espère que la Société aura bientôt à traiter ces questions ainsi que celle relative aux détendeurs sur le compte desquels il pense que l'on s'est mépris, car ces appareils, loin de sécher complètement la vapeur à haute pression, vaporisent à peine 4 à 5 0/0 au plus pour des chutes de 4 à 5 *kg*.

Il se borne à rappeler qu'il a exprimé naguère son opinion au sujet de la théorie de l'enveloppe par ces trois mots : *chauffage à outrance;* et quant au réservoir intermédiaire, agissant comme chaudière à basse pression et réservoir calorifique, il lui attribue, avec la diminution de puissance vive de la vapeur, presque exclusivement les avantages attribués à la machine de Roentgen, dite compound.

Les considérations qu'il a exposées, M. Casalonga dit les avoir tirées de quelques-unes de celles qui sont consignées dans le mémoire qu'il avait adressé à la Société pour le concours Giffard et au sujet duquel a été rendu le jugement que l'on sait. Ce jugement, auquel il s'est soumis comme il convenait, M. Casalonga dit ne l'avoir pas accepté ; et il vit avec l'espoir qu'un jour il sera réformé par ceux-là mêmes qui l'ont rendu.

M. LE PRÉSIDENT remercie M. Casalonga de son travail très intéressant. M. Casalonga est un travailleur infatigable ; il sait que la Société est une tribune libre, où tout le monde peut émettre son opinion, quelque différente qu'elle soit de celle d'autres collègues. Nous recevrons toujours avec plaisir les travaux que M. Casalonga voudra bien nous présenter. Le mémoire sera publié dans le compte rendu ; il y aura lieu alors d'ouvrir une discussion sur ses conclusions.

M. GAUDRY demande un renseignement sans vouloir discuter le rapport pour l'examen duquel il faut beaucoup d'attention. Il croit avoir entendu dire qu'il n'y avait pas d'avantage aux très hautes pressions. Qu'entend-on par « très hautes pressions » ?

M. CASALONGA répond que ce sont les pressions au delà de 10 et 12 *kg*. L'avantage en faveur du rendement de la chaleur est très faible à partir de 12 atmosphères.

M. GAUDRY : Les 15 *kg* de certains navires nouveaux seraient donc une exagération, tandis que 10 à 11 ne le seraient pas.

M. GAUDRY demande si dans les 10 ou 11 *kg* qui tendent à se généraliser, M. Casalonga ne voit pas d'exagération.

M. CASALONGA répond qu'il voit là, sauf pour certains cas spéciaux, une limite. Il y a 0,143 de rendement à 10 atmosphères et 0,157 à 18 atmosphères. On voit donc que pour augmenter le rendement de 0,143 à 0,157, il faut aller de 10 à 18 atmosphères.

M. GAUDRY a cru entendre que M. Casalonga ne considérait pas comme vraie la consommation de 0,800 *kg* par cheval et par heure malgré les rapports d'épreuves de réception qui constatent cette consommation de 0,800 *kg* et même moins.

M. CASALONGA surtout conteste des consommations inférieures à 500 *gr* et pour des consommation de 800 *gr*, il dit qu'on ne peut avoir des doutes que sur le rendement de la chaudière. Si la chaudière peut rendre plus de 70 0/0, peut-être pourrait-on, en supposant que les effets de l'enveloppe et du réservoir compensent les pertes, admettre une telle consommation. M. Zeuner admet 67 0/0, M. Hirsch 60 0/0, M. A. Normand 80 0/0 ; de toutes ces opinions et considérant ce fait que la chaudière reçoit 6 à 7 0/0 qu'on n'avait jamais compté, M. Casalonga admet 70 0/0. C'est en tenant compte de l'opinion d'hommes compétents comme M. A. Normand qui donnent 80 0/0 de rendement à la chaudière que M. Casalonga a été jusqu'à 70. A 4 atmosphères et 70 0/0 de rendement on ne peut pas consommer moins de 0,810 *kg* de charbon

avec une alimentation faite à 50 degrés. Il faut donc se résigner et admettre que le rendement de la machine à vapeur est très inférieur à celui que l'on indique quelquefois.

M. LE PRÉSIDENT donne la parole à M. J. Garnier pour exposer ses *notes de voyage dans l'Amérique du Nord et au nouveau district de Sudbury (Canada), platine, or, cuivre, nickel.*

M. JULES GARNIER dit que, chargé d'une étude géologique et industrielle du nouveau district minier récemment découvert au nord du lac Huron, il partit, accompagné d'un ingénieur chimiste et d'un de ses fils et se rendit d'abord à New-York.

Il montre New-York, son port de 1 800 *m*, ses métropolitains aériens, puis la vallée de l'Hudson dont le fleuve est navigable pour les plus grands navires sur un parcours de 160 *km ;* enfin Cleveland, ville de 260 000 habitants, peu connue des touristes, mais remarquable par sa belle situation sur des collines abruptes dominant le lac Erié, et par son port de 1 260 *m* de longueur.

L'Amérique est le pays des ponts gigantesques, car ses cours d'eau à franchir sont autrement larges que ceux de l'Europe ; aussi l'ingénieur américain est-il passé maître dans ce genre de travaux.

M. Jules Garnier décrit ensuite la ville de Buffalo et les admirables chutes du Niagara, qui reculent de 0,70 *m* par an sur la rive canadienne et de 0,20 *m* sur la rive américaine ; on a calculé que la chute canadienne seule peut fournir annuellement 17 millions de chevaux-vapeur. Le voyageur franchit ensuite le Niagara, remonte jusqu'à Toronto, capitale de la province Ontario. Cette ville, bien que canadienne, a tous les caractères des cités des États-Unis du Nord ; ce n'est d'ailleurs qu'aux bords du Saint-Laurent que la langue française s'est conservée intacte ; toute famille française qui s'éloigne de la vallée orientale ne tarde pas à se fondre et à disparaître dans la masse parlant la langue anglaise ; les noms même sont travestis. De Toronto à Northbay, sur le lac Nipissing, ce sont déjà les forêts d'arbres verts qui envahissent le sol : Northbay, station du *Canadian Pacific*, bien que comptant seulement quelques maisons en bois, est tracé comme si demain une nombreuse population devait s'y établir, et c'est en ce pays une utile précaution.

A partir de ce point, les rails s'enfoncent vers l'ouest, au milieu de sites sauvages, de forêts insondées, dont 600 lieues carrées ont été incendiées par le *prospecteur* des mines, le chasseur ou le pionnier ; les uns par négligence, les autres pour se frayer une voie, ou pour mieux examiner le sol.

M. Garnier, quittant ces parages, arrive à Chicago, qui va être le théâtre de la grande solennité de 1893 (400e anniversaire de la découverte de l'Amérique par Christophe Colomb). L'Exposition universelle qui se prépare disposera d'une surface de 420 *ha*, dans cette superbe ville où le prix du mètre carré de terrain atteint 8 500 francs et où les maisons de quinze étages sont nombreuses, mais admirablement desservies par de rapides ascenseurs. On construit en ce moment deux chemins de fer aériens dont l'un sera parallèle à la grande voie *State Street* et au tra-

vers des pâtés de maisons, comme M. Garnier avait conseillé de le faire à Paris.

45 000 *km* de chemin de fer appartenant à vingt-trois Compagnies différentes convergent à Chicago ; le commerce est au total par année de 6 milliards de francs. Aussi quel exemple extraordinaire de mouvement, de richesse, d'échange dans toutes les branches de l'activité humaine pour les exposants et les visiteurs de 1893 !

Après Chicago M. J. Garnier atteint Pittsburg, sur le vaste fleuve Ohio, où le gaz naturel, que les sondages vont capter dans les profondeurs du sol, éclaire 35 000 maisons et active 750 usines. Quelques-unes de ces usines sont colossales ; telle, par exemple, l'aciérie de *Bessemer-station* qui fabrique annuellement 400 000 *t* de rails, c'est-à-dire beaucoup plus que la France n'en consomme en ce moment. Le travail y est surtout mécanique et 350 ouvriers seulement suffisent à cette gigantesque production qui exigerait en Europe plusieurs milliers d'hommes ; c'est dans une des usines de la même Société qu'on fait maintenant aussi de l'acier au nickel dont M. Garnier formulait, dès 1876, les précieuses qualités, ainsi que le mode de fabrication, qu'il a encore perfectionné depuis lors.

Cette Société va faire ses blindages en acier-nickel avec des laminoirs puissants, tandis que l'usine de Bethleem construit pour le même but un marteau-pilon de 125 *t*.

Mais le *Far-West* commence à être trop peuplé, et l'émigrant va chercher au sud-ouest les terres inoccupées. Sur le méridien de Chicago, vers le sud, dans l'Alabama, vient de pousser une ville inconnue, il y a dix ans, de 100 000 habitants aujourd'hui ; c'est Birmingham. qui va suivre les traces de ses aînées et pour les mêmes motifs de développement : on y trouve, en effet, d'énormes amas superficiels de minerai de fer ; la houille et la castine ; les fontes reviennent à 4 francs les 100 *kg* environ, prix susceptible de s'abaisser.

La limite de ces efforts incessants sera une pléthore de production industrielle qu'il faudra déverser sur la vieille Europe, comme on y déverse déjà les grains et les viandes.

Il faut tout attendre de ce peuple énergique qui, en moins d'un siècle, a dompté l'homme rouge, changé les forêts en champs fertiles et substitué de dociles animaux à l'ours ou au bison. Il y a là une question économique des plus graves, dont la Société des Ingénieurs civils ne saurait se désintéresser (1).

A la station de Sudbury, au nord-ouest du lac Nipissing, M. Jules Garnier s'arrête au milieu du nouveau district minier, qu'il explore en compagnie des Ingénieurs de la principale mine, la « Canadian Copper C° » ; d'après les rapports de la commission officielle, cette Société possède en vue 650 millions de tonnes de minerais ; la teneur en nickel varie de 2,5 à 10 pour 100 et celle en cuivre de 0 à 30 pour 100. Le platine se présente en minerai nouveau : un arséniure de platine, baptisé *sperrylite*, du nom de M. Sperry, qui l'a découvert. Il est accompagné par de l'or et du cuivre natif.

(1) Le mémoire de M. Jules Garnier paraîtra *in extenso* dans le Bulletin.

Déjà, sur les principaux gîtes, tous les procédés mécaniques les plus parfaits sont établis pour le travail du minerai; l'ensemble géologique et minier rappelle absolument la Norvège, mais avec une richesse métallique beaucoup plus grande; ici, les fjords sont remplacés par des lacs innombrables auxquels les géologues américains donnent une origine glaciaire. Comme ces lacs sont formés dans du gneiss, les géologues pensent que la roche, qui était profondément décomposée et désagrégée avant la période glaciaire, a été facilement érodée ensuite sous la puissante action des amas de glaces en mouvement. A cette action, M. Garnier, comme il l'a déjà écrit dans le Bulletin au sujet de la Norvège et de la Nouvelle-Calédonie (1), ajouterait la décomposition de bancs immenses de pyrites de fer avec nickel et cuivre qui, moins mélangés de roches que ceux qu'on trouve aujourd'hui, se sont plus facilement décomposés, formant des sulfates solubles; ces sulfates, à la Nouvelle-Calédonie, par exemple, ont précipité leur nickel et leur magnésie à l'état d'hydrosilicate de nickel et de magnésie (Garniérite-Dona nov. sp.) dans les pores ou les fissures des roches adjacentes. Ici, où la silice en dissolution faisait défaut, ces sulfates se sont écoulés; peut-être sont-ce des sulfates de cuivre ainsi formés qui, concentrés dans certaines cavités et au contact de végétaux réducteurs, ont donné naissance aux amas de cuivre natif du voisinage (mines du lac Supérieur), aussi bien qu'au cuivre natif qu'on a rencontré dans la localité, à « Vermillion mine ». C'est là une question que M. Garnier se réserve de traiter à part et d'examiner dans un nouveau voyage; jusqu'ici, l'on n'a pas expliqué d'une façon entièrement satisfaisante la formation de ces amas de cuivre natif et l'action galvanoplastique mise en avant par le savant professeur Rivot ne répond pas à tous ces faits observés.

M. le Président remercie M. Garnier de sa communication. Grâce aux projections et aux photographies, on a pu suivre notre collègue dans son voyage rapide et apprécier l'esprit pratique qui caractérise la nation américaine. Ce sujet mérite toute l'attention des Ingénieurs et des économistes.

La séance est levée à onze heures et demie.

Séance du 20 Mars 1891.

Présidence d'honneur de M. Yves Guyot, Ministre des Travaux publics.

Présidence de M. E. Polonceau.

M. Yves Guyot, Ministre des Travaux publics, accompagné de M. Sébillot, chef du Cabinet, du Personnel et du Secrétariat; de M. Gay,

(1) *Mémoire sur les gisements métallifères de la Nouvelle-Calédonie et leur traitement industriel.* — Baudry, éd., Paris.

inspecteur général des Ponts et Chaussées, directeur des Chemins de fer, et de M. Guillain, ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, directeur des Routes, de la Navigation et des Mines, est reçu, à son arrivée dans l'hôtel de la Société, par M. E. Polonceau, président de la Société, entouré du Bureau, de la plupart de MM. les anciens Présidents, MM. A. Brüll, V. Contamin, G. Eiffel, A. Gottschalk, S. Jordan, L. Martin, F. Reymond, E. Trélat, etc., et de tous les membres du Comité.

M. le Ministre prend place au fauteuil de la présidence et déclare la séance ouverte.

M. Polonceau, président de la Société, prend la parole en ces termes :

« Monsieur le Ministre,

» La Société des Ingénieurs civils est très honorée de ce que vous ayez bien voulu, malgré vos nombreux travaux, nous accorder quelques instants ; elle me charge de vous en remercier et de vous expliquer en quelques mots ce qu'elle est.

» Notre Société date de 1848, et nous croyons, depuis cette époque, avoir rendu quelques services à notre pays. Nous avons été une *tribune libre*, où chaque Ingénieur civil a pu venir en toute liberté exposer ses idées, ses projets, ses tentatives; en un mot, tous les travaux du *génie civil*.

» Chacun, ici, est responsable et seul responsable de ses idées : c'est ce qui nous permet de laisser toute liberté, et la discussion vient corriger les idées quelquefois un peu hasardées, mais qu'il ne faut pas trop entraver, parce qu'elles sont souvent les prémisses d'idées pratiques et élargissent l'horizon humain.

» Par nos communications, nos discussions et par nos voyages, nous cherchons à nous instruire, car on apprend toujours ; nous nous efforçons de développer le goût des recherches, des idées nouvelles, du progrès; nous encourageons la propagande technique, nous propageons les découvertes, les inventions, nous soutenons les faibles et stimulons les indécis.

» La France, par sa situation d'ancien État, ayant des matières premières et une main-d'œuvre coûteuses, ne peut prospérer que par les progrès de son commerce et de son industrie; sans eux elle serait vaincue sur les divers marchés extérieurs, et, malgré les lois protectionnistes, son industrie et son commerce intérieurs finiraient par succomber sous les produits étrangers.

» Il nous faut donc constamment perfectionner notre outillage, nos appareils divers de fabrication, nos procédés de manipulation et nos moyens de transport, pour arriver, tout en n'ayant pas des prix trop élevés, à obtenir des produits supérieurs et à occuper dans les arts industriels, par la qualité, le fini et l'élégance, une place spéciale sur les marchés étrangers.

» Mais là ne se borne pas la tâche de la Société des Ingénieurs civils: depuis longtemps, je puis dire depuis sa création, elle s'occupe de la

question sociale, et, pour vous le montrer, il me suffira de vous répéter ce que disait M. Yvon-Villarceau, le savant astronome, dans son discours d'installation comme Président en 1871 :

« Que les Ingénieurs continuent donc leur rôle d'intermédiaire entre « le capital et le travail ; c'est à ces deux termes que les intéressés ré- » duisent la question, et l'œuvre de la pacification pourra s'accomplir.

» La grande séparation des différentes classes de la société, à laquelle » on attribue nos divisions, cessera de produire de telles conséquences » dès que les Ingénieurs auront compris leur rôle de trait d'union entre » les deux classes, dont les intérêts, si opposés en apparence, sont en » réalité les mêmes. »

» Bien des fois, les questions sociales, l'amélioration du sort des travailleurs, ont été traitées ici.

» Enfin, nos collègues qui sont à l'étranger et portent haut le drapeau français, trouvent ici, toutes les fois qu'ils le demandent, des renseignements précieux, et nos publications les tiennent au courant des progrès du génie civil.

» Notre Société, vous le voyez, monsieur le Ministre, est une œuvre libérale et patriotique. Elle est heureuse de voir un témoignage de votre sympathie dans votre consentement à venir présider cette séance. Elle est digne, d'ailleurs, de votre bienveillance, car ses membres n'ont en vue que les progrès de la science et ceux de l'art de l'Ingénieur, éléments essentiels de la prospérité du commerce, de l'industrie et aussi de l'amélioration du sort du travailleur. » *(Vifs applaudissements.)*

(M. le Ministre des Travaux publics serre la main à M. Polonceau.)

M. LE MINISTRE DES TRAVAUX PUBLICS :

« MONSIEUR LE PRÉSIDENT,
» MESSIEURS,

» Je vous remercie beaucoup de l'honneur que vous m'avez fait en voulant bien m'inviter à venir présider une des séances de votre Société. Je la connais depuis longtemps. Dans ma carrière, livrée presque tout entière aux études économiques, j'ai souvent eu l'occasion de consulter certains de vos travaux. Aussi je suis heureux, comme Ministre des Travaux publics, de pouvoir vous apporter un témoignage de sympathie.

» Je sais tout ce que l'industrie moderne, tout ce que le rayonnement de la France doivent à votre intelligence, à votre persévérance, à votre travail ; et si, d'un côté, il y a les Ingénieurs de l'État, dont les fortes études ont élevé les corps des Ponts et Chaussées, des Mines, et des Manufactures de l'État à un si haut degré, d'un autre côté, je suis loin de méconnaître tout ce qu'a de fécond votre initiative en matière d'industrie. Vous êtes forcément, les uns et les autres, des Ingénieurs qui relèvent plus spécialement du Ministère des Travaux publics, et vous qui ne relevez que de votre intelligence et de votre volonté, vous êtes des collaborateurs ! C'est grâce à cette collaboration que nous avons fait tant de

grands et de beaux travaux en France, entre autres le réseau des chemins de fer, dont on peut bien dire quelquefois du mal, qu'on attaque souvent dans les Assemblées parlementaires, mais dont nous nous servons et qu'on ne trouve pas si mauvais quand on le compare aux autres. *(Applaudissements.)*

» Messieurs, vous avez pour vous tout le champ de l'activité humaine. Vous n'êtes retenus par aucun règlement autre que votre propre conscience. Vous pouvez vous livrer à toutes les industries, vous associer à toutes les œuvres qui relèvent de l'initiative personnelle.

» Je sais, au point de vue des questions sociales dont vous avez parlé, tout l'effort utile que vous avez employé. Cependant, je me permettrai une légère critique dans vos appréciations, Monsieur le Président. Vous avez paru placer la société dans deux camps séparés et opposés : l'un, le capital; l'autre, le travail. En réalité, vous êtes tous, Messieurs, le meilleur exemple que ces camps ne sont pas des camps retranchés, qu'ils sont confondus pêle-mêle, et les grandes entreprises que nous avons vu éclore depuis un demi-siècle n'ont pu se produire que par l'association des capitaux et du travail.

» Il en résulte qu'en dépit de ceux qui, par des guerres d'écoles économiques ou socialistes, par des essais de classification, ont pour objet, non pas de chercher ce qui peut préparer, par l'union, la paix sociale, mais de susciter des querelles, dégénérant en haines sociales, nous sommes actuellement tous plus ou moins capitalistes d'un côté, salariés de l'autre, et qu'en réalité, tous les intérêts se confondent au grand profit de la solidarité humaine. *(Applaudissements.)*

» Votre Société est éclose en un moment d'espoir, au soleil de 1848. Elle est née des généreuses aspirations qui animaient à ce moment la France. Depuis, sans doute, il y a eu bien des déceptions, il y a eu des jours de deuil pour notre patrie. Mais, quoi qu'on en dise, quoi que prétendent certains pessimistes, nous pouvons bien assurer que nous avons fait, depuis ces cinquante dernières années, une œuvre glorieuse, utile pour le pays et pour l'humanité tout entière. *(Applaudissements.)*

» Les hommes qui composent une Société comme la vôtre ont prouvé, par leurs travaux, que c'était au génie scientifique et industriel qu'appartenaient le présent et, à plus forte raison, l'avenir. Nous avons vu, pendant cette période, l'éclosion de la vapeur; nous avons vu se transformer les conditions de la construction; nous avons vu des forêts de fer se jeter à travers nos rivières, aller jusqu'à l'escalade du ciel; nous avons vu les chemins de fer, les vapeurs, les réseaux télégraphiques, rapetisser le globe; nous assistons, depuis une dizaine d'années, aux merveilleuses découvertes de l'électricité; nous sommes probablement à la veille de la solution de problèmes qui contribueront encore à changer les conditions de notre existence. Quand on voit une pareille attestation de la puissance humaine; quand on voit l'intelligence, servie par le travail et la méthode scientifique s'élever à de pareils progrès, augmenter dans de si grandes proportions le bien-être dont tous profitent, on peut dire que la génération dont nous faisons partie n'a été ni une génération inutile ni une génération sacrifiée.

» Messieurs, c'est évidemment grâce à votre science, à votre art de l'Ingénieur, que tous ces grands problèmes ont été résolus, que vous en posez d'autres qui seront résolus demain. C'est là votre honneur ; et, en dépit de certaines apparences, j'affirme que les maitres du monde, ce sont les Ingénieurs ! *(Applaudissements.)*

» Au nom du Gouvernement, je suis heureux de vous apporter ce soir un témoignage de sa sympathie pour vos travaux, en décernant cette récompense honorifique à M. A. Brüll. » *(Applaudissements répétés.)*

M. LE MINISTRE attache sur la poitrine de M. A. Brüll la croix de la Légion d'honneur. *(Longs et vifs applaudissements.)*

M. LE PRÉSIDENT adresse les vifs remerciements de la Société à M. le Ministre, et donne la parole à M. A. Brüll.

« MONSIEUR LE MINISTRE,

» Veuillez pardonner à mon émotion ; elle va m'empêcher peut-être de vous remercier comme je le devrais.

» Vous m'avez fait le grand honneur de me proposer à M. le Président de la République pour une distinction des plus enviées, quelquefois si ardemment disputée. Je vous en remercie de tout cœur, et je vous prie d'être assuré de tout mon dévouement.

» Mais vous avez, Monsieur le Ministre, rehaussé singulièrement le prix de la récompense accordée, en me la conférant de votre propre main avec un éclat inaccoutumé, en présence de mes chers collègues, au milieu desquels se déroule depuis plus de trente ans ma carrière d'ingénieur. Rien ne pouvait m'être plus sensible qu'une aussi rare faveur.

» Permettez-moi de remercier devant vous les très obligeants amis qui ont su, avec un art fait de dévouement et de cordialité, faire ressortir à vos yeux, peut-être même grossir quelque peu, les services d'un modeste travailleur.

» S'ils ont pu vous convaincre, je l'attribue sans doute à la situation que donnait à chacun d'eux la valeur de sa personnalité ; mais ils ont dû aussi leur crédit à l'autorité qu'ils tenaient de la Société des Ingénieurs civils.

» Comme l'a si bien dit notre honoré Président, la libre et libérale Société des Ingénieurs civils mérite bien, à tous égards, la sollicitude des pouvoirs publics. Vous vous convaincrez, Monsieur le Ministre, par la visite dont vous nous honorez ce soir, qu'il n'est pas de milieu où l'on trouve à un plus haut degré l'amour du progrès, le sincère souci du bonheur des ouvriers et le dévouement patriotique. » *(Très bien ! très bien !)*

M. LE PRÉSIDENT constate que personne ne demande la parole à propos du procès-verbal de la précédente séance. Le procès-verbal est adopté.

M. LE PRÉSIDENT a le profond regret d'annoncer le décès de M. Sévry, Ingénieur en chef de la maison Piat.

M. LE PRÉSIDENT est heureux d'annoncer que M. Lebargy, Ingénieur au Chemin de fer du Nord, a été nommé chevalier de la Légion d'honneur.

M. LE PRÉSIDENT remercie M. Bonpain, qui a fait abandon à la Société de deux bons souscrits par lui.

M. LE PRÉSIDENT dépose sur le bureau la liste des ouvrages reçus depuis la précédente séance, liste publiée plus loin.

M. LE PRÉSIDENT donne la parole à M. L.-A. DURANT sur *l'état de la question de l'unification des méthodes d'essais des matériaux.*

Après avoir rappelé la communication de M. Candlot sur les essais des chaux, ciments, etc., M. Durant passe à l'examen des travaux tendant à l'unification des méthodes d'essais des métaux entrant dans la construction des appareils métalliques.

Il résume tout d'abord la remarquable étude présentée par M. Cornut au Congrès international de mécanique appliquée, en 1889, et montre que si, jusqu'ici, l'unification des méthodes d'essais n'a été qu'une préoccupation secondaire, par contre la garantie toujours plus complète de la sécurité a été la constante recherche des Ingénieurs de tous les pays. M. Durant, d'après M. Cornut, passe rapidement en revue les noms des Ingénieurs qui se sont attachés à résoudre ces questions si complexes, telles que les effets du poinçonnage et du cisaillage, de l'étirage au marteau et au laminoir, du forgeage ou du laminage à froid et à chaud ; il rappelle les recherches qui ont démontré l'influence de la chaleur sur la résistance des matériaux, les effets de tractions réitérées sur la limite d'élasticité.

Après une rapide analyse des phénomènes divers qui accompagnent un essai à la traction, M. Durant insiste, toujours en suivant M Cornut, sur l'influence exercée sur les résultats par la forme des éprouvettes, la conduite de l'essai ; il montre ces mêmes influences diverses en cas d'essais au choc et insiste sur les conclusions de M. Cornut, et après lui du Congrès lui-même, qui a exprimé le vœu que le gouvernement français prenne auprès des gouvernements étrangers l'initiative de la réunion d'une commission internationale ayant pour mission d'introduire une certaine uniformité dans les méthodes d'essais.

M. Durant ne doute pas que la présence de M. le Ministre des Travaux publics ne soit la preuve de l'intérêt que porte le gouvernement à cette question si importante pour l'industrie. L'étude approfondie faite dans ces derniers temps par ordre du ministre, et sous la direction de M. Dupuy, inspecteur général des Ponts et Chaussées, sur les conditions d'épreuves des ponts métalliques est précisément inspirée par ce désir de suivre de près les progrès de la science et des fabrications.

Après cet exposé préliminaire, M. Durant passe en revue les travaux des conférences internationales de Munich en 1884, de Dresde en septembre 1886 et enfin de Berlin en 1890.

Dans les deux premières conférences, la question des machines et appareils d'essais a été étudiée avec un soin tout spécial ; puis, pour les éléments les plus importants, rails, essieux, bandages, tubes, ressorts, fils et câbles, les essais les plus appropriés ont été définis avec minutie ; les garanties à demander aux profilés et tôles de fer et d'acier pour ponts, coques de navires, etc., ont été définies avec précision ; et enfin les bois ont aussi été étudiés.

Un programme très vaste, que rappelle M. Durant, avait été préparé pour la conférence de Berlin ; beaucoup de questions n'ont pu être que soulevées et ont été renvoyées, pour étude et essais, à des sous-commissions. En fait, il n'y a eu jusqu'à présent qu'un échange d'opinions sur la nature des essais à faire et sur les meilleures méthodes à adopter. Ces méthodes devront varier suivant le développement de la connaissance des matériaux et des fabrications.

Il serait pour le moment désirable d'arriver à une certaine uniformisation des dimensions d'éprouvettes et des méthodes d'essais. Il suffit aujourd'hui de bien poser la question ; car alors elle ne peut manquer d'être résolue à bref délai.

M. Contamin exprime quelques craintes au sujet des prescriptions administratives qui pourraient être la conséquence des remarquables études de la commission présidée par M. l'Inspecteur général Dupuy. Il montre que la constance des coefficients de sécurité apporte une simplification très grande dans les calculs, et insiste sur ce que la variabilité de ces coefficients, que la commission semble disposée à adopter, est loin d'être établie d'une façon indiscutable; les expériences allemandes que l'on invoque demanderaient à être poursuivies et vérifiées. A ces conceptions théoriques, M. Contamin oppose les nombreux résultats pratiques fournis à la Compagnie du Nord par un service de plus de trente ans. Des rails, des fers provenant de ponts qui ont subi un pareil travail ont été essayés : ils avaient conservé leur même résistance et leur même élasticité. M. Contamin trouve un nouvel argument en faveur des objections qu'il expose dans les recherches du professeur Bauschinger, de Munich, et dans les termes mêmes des cahiers des charges adoptés après essais par les chemins de fer russes et autrichiens. Il craint que la réforme projetée n'apporte de grandes complications dans les études sans améliorer les conditions de sécurité.

M. Polonceau fait observer que M. Contamin se trompe, M. Durant n'a parlé en rien d'approbation : dans son exposé il n'a parlé que d'une étude prescrite par M. le Ministre, ce qu'on doit toujours encourager, et qu'il ne s'agit nullement de sanction puisque c'est encore un projet.

M. le Ministre des Travaux publics. — La circulaire dont parle M. Contamin n'est encore, ainsi que lui-même l'a dit, qu'à l'état de projet. Le Conseil des Ponts et Chaussées l'examine en ce moment. Mais elle n'a pas encore vu le jour et je ne sais si elle le verra. Maintenant, je suis heureux d'annoncer à l'honorable M. Durant que le Ministère des Travaux publics a déjà répondu aux vœux que je lui ai entendu formuler dans son rapport ; j'ai demandé à mes collègues du gouvernement intéressés de m'autoriser et de contribuer eux-mêmes à former une commission qui serait chargée de préparer un questionnaire pour une conférence internationale afin d'arriver à l'étude de l'unification des méthodes d'essais de résistance des matériaux. Je prierai l'honorable M. Durant de vouloir bien verser son rapport dans les travaux de cette commission. *(Applaudissements.)*

Un Membre demande la parole pour faire une observation sur la communication de M. Durant.

M. Polonceau fait observer que la discussion n'est pas ouverte; lorsque la communication sera mise à l'ordre du jour pour être discutée, la parole lui sera donnée.

M. le Président donne la parole à M. J.-B. Chaussegros sur une *Nouvelle méthode de fabrication des tubes en fer*, imaginée par MM. Mannesmann.

M. Chaussegros rappelle en quelques mots les méthodes successivement appliquées pour la fabrication des tubes, par enroulement et brasage, par rivure, par soudure; il montre les progrès réalisés quant à la qualité des produits obtenus, et en même temps les incertitudes de ces fabrications qui semblent devoir céder la place à la méthode inventée par MM. Mannesmann. En quelques années, quatre usines ont été créées, à Remscheid (Westphalie), à Bous, près Saarbrück, à Komotau (Autriche) et à Landore (Pays de Galles).

M. Chaussegros aurait voulu parler de ce qu'il a vu, mais n'ayant pu entrer dans aucune de ces usines, il doit se contenter d'analyser et de résumer des descriptions publiées dans divers recueils, et de présenter une remarquable collection d'échantillons qui lui a été confiée.

Le procédé de MM. Mannesmann consiste à transformer par laminage un lingot plein d'une matière homogène et rendue plastique par la chaleur en un tube. La laminoir employé consiste essentiellement en deux cylindres tournant dans le même sens et dont les axes sont situés dans des plans parallèles à l'axe du lingot à travailler. Les axes des cylindres font, inclinés en sens inverse l'un de l'autre, un certain angle avec l'axe du lingot.

Par suite de cette obliquité des cylindres, le lingot est entraîné dans un mouvement héliçoïdal, les cylindres sont munis de stries pour augmenter l'entraînement et ils présentent du côté de l'entrée du lingot une partie en tronc de cône. Le lingot subit, par suite, dès son entrée dans le laminoir une diminution de diamètre qui retarde son passage; les molécules superficielles étant poussées énergiquement, tandis que les molécules voisines de l'axe ne subissent aucune action directe, elles glissent les unes par rapport aux autres; les molécules superficielles avancent rapidement par rapport aux molécules centrales qui restent en arrière; le lingot se creuse en forme de coupe; et l'action se continuant de proche en proche, le vide se prolonge, le tube prend naissance.

M. Chaussegros donne au moyen d'un bloc d'argile et de deux galets une idée approximative de l'effet produit.

Il ne saurait, faute de temps, entrer dans tous les détails de cette remarquable fabrication. Il indique en quelques mots l'emploi d'un mandrin fixe, placé dans l'axe du lingot, qui fait subir aux tubes un polissage intérieur; l'emploi de lingots coniques à une extrémité, si l'on veut produire des tubes fermés à un bout, biconiques, si on veut produire des tubes fermés aux deux bouts. Il cite un travail complémentaire, l'élargissement de diamètre obtenu par un laminage subséquent entre des troncs de cône à angle plus obtus, avec intervention d'un mandrin fixe.

M. Chaussegros insiste sur la force considérable absorbée par ce laminage, force telle qu'il faut recourir non seulement à de puissantes machines, mais surtout à des volants capables d'emmagasiner une puis-

sance vive exceptionnellement considérable. Des volants en fonte n'eussent pas résisté aux variations de vitesse résultant de ce travail inusité ; de là la nécessité de volants en fer et fils d'acier, susceptibles de subir sans altération ces efforts. Une autre difficulté se présentait, c'était l'obligation de commander les cylindres par des roues d'angle pour permettre l'introduction du lingot et la sortie du tube suivant l'axe. Des engrenages ordinaires n'auraient pu résister aux efforts imposés ; MM. Mannesmann ont imaginé des roues articulées d'un type tout spécial, dont M. Chaussegros présente un modèle.

Pour arriver à réaliser industriellement cette fabrication, les inventeurs n'ont pas dû seulement avoir une idée ingénieuse, ils ont dû réaliser successivement une série d'appareils nouveaux susceptibles de satisfaire à des conditions absolument exceptionnelles de vitesse, de résistance et de précision.

Toutes ces difficultés ont été vaincues et la fabrication est devenue industrielle.

Les inventeurs pensent pouvoir faire servir leurs tubes non seulement pour toute sorte de conduites, mais encore pour canons de fusil, canons de campagne, arbres de transmission, colonnes, essieux, etc.

M. le Président de la Société donne ensuite la parole à M. Ernest Vlasto sur l'*Industrie des câbles sous-marins*.

M. E. Vlasto montre rapidement l'importance considérable de cette industrie des câbles sous-marins, qui a déjà fourni pour plus d'un milliard de produits, et qui, pourtant, est restée jusqu'à l'année dernière monopolisée exclusivement entre les mains des Anglais. Il passe en revue les difficultés spéciales que présente cette industrie : difficultés techniques et difficultés financières ; mais surtout difficultés résultant des conditions spéciales de situation que doit remplir une usine de fabrication de câbles sous-marins.

Il rappelle les dates des premiers câbles, les noms des inventeurs, des savants, des grands industriels, presque tous Anglais, qui ont créé, développé et amené à un pareil état de prospérité cette grande industrie, pendant une période où d'autres préoccupations absorbaient les autres grands pays industriels, tels que la France et les États-Unis.

M. E. Vlasto attire l'attention sur un tableau graphique qui représente d'une façon frappante l'importance relative, toujours très différente, des réseaux d'État et des réseaux appartenant à des Compagnies particulières : tandis que les États n'ont jamais posé que des câbles côtiers nécessaires à des besoins de défense, les Compagnies privées entreprenaient tous les grands efforts et arrivaient dans certaines années, comme 1873, 1874, 1879, 1882, à poser de 7 000 à 9 000 milles marins de câbles ; et même comme en 1870 et 1884 à poser jusqu'à 12 et 13 000 milles marins ; de telle sorte que finalement, dans la période de 1851 à 1889, les États ont posé 13 178 milles marins (de 1852 *m* au mille) et les Compagnies, 107 546 milles marins.

Malgré ce réseau qui dépasse 120 000 milles marins, cependant les plus longs parcours, ceux qui doivent desservir les îles de l'océan Pacifique, sont à faire ; l'industrie des câbles a donc encore devant elle un

bel avenir, surtout si l'on tient compte du remplacement qui s'imposera progressivement pour les anciens câbles.

M. E. Vlasto ne peut cependant passer sans signaler une grave difficulté que va rencontrer cette industrie : la disparition de l'arbre producteur de la gutta-percha. Cette matière indispensable a quintuplé de valeur (de 3 à 15 *f* le kilogramme) en 10 ans, non pas tant par suite de l'augmentation de consommation, que par suite de la récolte barbare qui tue la plante.

M. E. Vlasto estime que les gouvernements devraient s'entendre pour prendre des mesures de préservation en faveur de ces arbres si indispensables. Mais en attendant il fait appel à l'habileté des inventeurs pour produire un corps artificiel jouissant de la plupart des propriétés de ce précieux suc végétal.

Si l'Angleterre est restée maîtresse jusqu'ici de la fabrication des câbles, elle est restée aussi presque complètement maîtresse de leur pose et de leur entretien. Pour le prouver, M. E. Vlasto fait circuler un tableau donnant les noms, tonnages, nationalité, station ordinaire, etc. des 36 navires à vapeur qui sont spécialement affectés à ce service.

Sur ces navires dont le tonnage s'élève à 55 783 *t*, dont la force en chevaux nominaux est de 8 438 chevaux-vapeur et qui représentent une valeur de 30 000 000 *f*, 32 appartiennent à des Compagnies anglaises, 2 à l'Amirauté anglaise ; 2 seulement, à la marine de guerre française ; et ces 2 navires sont de vieux petits avisos qui ne peuvent s'éloigner des côtes.

M. E. Vlasto montre que la France possède 64 câbles d'une longueur totale de 8 457 milles marins ; et qu'en particulier l'État français possède 35 câbles d'une longueur totale de 4 068 milles. C'est la France qui, de tous les pays, a la plus grande longueur de câbles d'État, et pourtant, notre pays n'est pas outillé pour entretenir ce réseau. Il était obligé de recourir aux Compagnies anglaises.

Cette situation si défavorable à tous points de vue s'est prolongée de longues années ; on commence à peine à en sortir.

M. E. Vlasto décrit les projets divers qui se sont succédé : fabrication par l'État, fabrication par des Compagnies privées ; il rappelle par suite de quelles circonstances la Société Générale des Téléphones, privée de son exploitation première, a été amenée à chercher pour ses capitaux un nouvel emploi : elle s'est décidée à installer à Calais une grande usine de fabrication capable de rivaliser, à tous les points de vue, avec les plus grandes usines anglaises.

M. E. Vlasto ne saurait entrer dans les détails techniques de cette fabrication si spéciale, mais au moins il promène les membres de la Société autour et même à travers des ateliers par une série de projections.

En finissant, M. E. Vlasto insiste sur trois points : la France possède enfin chez elle une industrie qui avait été jusqu'ici monopolisée en Angleterre et avait livré en 40 ans pour un milliard de produits ; cette industrie, grâce même à sa tardive installation, a pu adopter immédiatement tous les perfectionnements techniques et se trouve ainsi capable de répondre aux besoins les plus considérables non seulement de la France, mais des pays voisins ; et, c'est à l'initiative privée, à celle de la

Société Générale des Téléphones, que le pays doit cette nouvelle source de richesse.

M. LE PRÉSIDENT remercie M. E. Vlasto de sa communication et donne ensuite la parole à M. E. Gruner sur *La question ouvrière dans les pays étrangers (d'après les documents récents)*.

M. E. GRUNER rappelle que, déjà, par ses statuts primitifs, la Société des Ingénieurs civils s'est proposé l'étude des questions d'économie sociale et que ses membres ont, à maintes reprises, indiqué des réformes dont la nécessité semble s'imposer de plus en plus, ou combattu des entraînements qui pour être internationaux n'en sont ni moins irréfléchis ni moins dangereux.

Il cite les remarquables paroles d'un des ingénieurs les plus éminents de ce siècle qui affirmait, dans l'un des derniers congrès de l'Industrie minérale, que « la question sociale, le grand problème du jour, ne sera » résolue que si nous nous intéressons tous sérieusement au bien-être » réel des ouvriers attachés à nos usines et à nos mines ». Il croit donc pouvoir affirmer qu'en France, la question sociale est depuis longtemps l'objet de la constante et bienveillante préoccupation de l'ingénieur, du chef d'industrie. Mais il doit aussi reconnaître que cette question n'est pas sans le préoccuper, l'inquiéter. Désireux de faire le bien, le chef d'industrie manque d'indications, de modèles ; l'exposition d'économie sociale a levé un coin du voile. Mais la lumière n'est encore que bien vague.

C'est par une étude attentive des expériences faites à l'étranger que la lumière peut surgir éclatante ; la Société l'a compris en récompensant, il y a quelques années, les études faites à l'étranger sur cette question par un membre de la Société ; le Ministre des Affaires étrangères l'a compris également quand il a adressé aux représentants de la France à l'étranger la demande d'enquête que la Société a cru devoir signaler à l'attention de tous ses membres.

M. Gruner énumère rapidement les rapports parus ; il ne saurait dans le peu de minutes qui lui ont été réservées, en fin d'une séance aussi chargée, s'attarder à analyser un à un ces rapports, ni même à en résumer les conclusions diverses.

Il ne s'arrêtera qu'à un petit nombre de questions qu'il suivra de pays en pays.

Il montre le Danemark, la Suède et la Suisse légiférer presque en même temps sur la protection des accidents ; mais étudier, sans oser conclure, la question de l'assurance obligatoire. Plus prudents que l'Allemagne et l'Autriche, ces petits pays attendent que la grande expérience tentée dans ces deux puissants empires aient été complétée et ait conduit à des conclusions indiscutables.

M. Gruner cite quelques chiffres qui permettent de suivre le développement et l'effet immédiat des lois sociales allemandes et se demande si ces résultats ne justifient pas la prudente réserve des petits pays dont il a indiqué l'attitude en commençant. Il montre qu'une loi d'apaisement qui devait dégrever largement les établissements de secours aux indigents a, au contraire, pour résultat imprévu d'augmenter considéra-

blement le nombre de ceux qui, privés de tout travail, n'auront plus d'autre asile que l'assistance publique.

Sur un autre point également, *celui des heures de travail*, M. Gruner se préoccupe de voir une agitation factice dominer les masses ouvrières, et leur faire acclamer une revendication que presque tous les ouvriers pris isolément rejettent complètement.

En face de pareilles agitations, M. Gruner estime qu'un grand devoir de modération s'impose à tous les ingénieurs dans leurs rapports avec leurs ouvriers.

M. Polonceau. Monsieur le Ministre, il nous reste à vous remercier des faveurs dont vous nous avez comblés, nous et M. A. Brüll ; et la manière dont la décoration de notre ancien Président a été accueillie par la Société vous prouve que vous avez accompli un acte de justice.

En terminant, nous remercions M. Gay, Directeur général des Chemins de fer; M. Guillain, Directeur des Routes, de la Navigation et des Mines; M. Sébillot, Chef du Cabinet, du Personnel et du Secrétariat, vos éminents collaborateurs, d'avoir bien voulu vous accompagner et donner ainsi un témoignage de leur sympathie qui jette un éclat tout spécial sur cette réunion, dont nous conserverons le souvenir. Cette séance, monsieur le Ministre, comptera parmi les plus belles de la Société. *(Applaudissements.)*

M. le Ministre des Travaux publics. Monsieur le Président, si cette séance compte parmi les belles séances de votre Société, c'est grâce aux communications si intéressantes que nous avons entendues. C'est à moi de vous remercier de m'avoir fait assister à des travaux qui, dans divers ordres, m'ont profondément intéressé.

Je remercie particulièrement M. Gruner d'avoir terminé la séance en abordant un problème aussi difficile et en l'abordant avec tant de prudence. Je crois que nous sommes tous d'accord ici pour chercher, au milieu des problèmes complexes soulevés par l'industrie, tout ce qui peut servir à la conciliation, à l'apaisement social, et pour nous orienter vers la politique de l'utile. *(Applaudissements.)*

La séance est levée à onze heures.

LA QUESTION OUVRIÈRE

DANS LES PAYS ÉTRANGERS

D'APRÈS LES DOCUMENTS RÉCENTS

PAR

E. GRUNER

INGÉNIEUR CIVIL DES MINES, SECRÉTAIRE DU COMITÉ CENTRAL
DES HOUILLÈRES DE FRANCE

Notre Société a, dès la première heure, en 1848, inscrit dans ses statuts et proposé à tous ses membres « l'étude des questions » d'économie industrielle, d'administration et d'utilité pu- » blique » (1).

Fidèle à ce programme, elle a, chaque année, consacré l'une ou l'autre de ses séances à ces questions vitales. Plus d'une fois elle s'est trouvée en avance sur son siècle, et ses membres ont indiqué des réformes dont plusieurs n'ont encore été que bien imparfaitement réalisées, mais dont la nécessité s'impose avec une évidence toujours plus indiscutable ; d'autres fois aussi, ils n'ont pas craint de signaler les dangers de certains entraînements, qui, pour être internationaux, n'en sont ni moins irréfléchis ni moins dangereux.

Un des professeurs et des ingénieurs les plus éminents de notre pays le disait, il y a déjà près de dix ans, dans un Congrès de l'Industrie minérale, dont il était président d'honneur (2) :

» A côté et au-dessus des questions purement techniques, se » dresse la *question sociale*. C'est le grand problème du jour, et ce » problème ne sera résolu que si nous nous intéressons tous sé- » rieusement au bien-être réel des ouvriers attachés à nos usines » et à nos mines. Dans cette voie, vous serez parfois méconnus ; » mais ne vous découragez pas ; la persévérance, le dévouement » personnel sont ici nécessaires ; le succès est à ce prix.

(1) Statuts de la Société. — Article 2, 4°.

(2) Lettre de M. L. Gruner, Inspecteur général des mines, lue au Congrès de l'Industrie minérale en 1882. (*Bulletin de l'Industrie minérale*, 2e Série. Tome XI, p. 513.)

» Vous aurez pour récompense le sentiment du devoir accom-
» pli, et ce sentiment, vous pouvez en croire votre vieux prési-
» dent, vaut bien des déboires. Courage donc, et que la solution
» pacifique de la grande question du jour soit acquise par les ef-
» forts combinés de tous les membres de notre Société. »

C'est à une Société sœur de la nôtre que s'adressait cet appel si chaleureux ; il est donc juste de dire que, dans notre pays, pour l'ingénieur, pour le chef d'industrie, la question sociale est un sujet de constante et de bienveillante préoccupation.

Nous ne serions pas complètement véridique si nous ne disions qu'elle est aussi une question inquiétante : Insuffisamment préparés par leurs études premières, abandonnés à eux-mêmes, désireux de bien faire, mais privés de modèles et de directions, beaucoup ont fait fausse route, soit qu'ils aient trop voulu tenir en lisière l'ouvrier pour le préserver des mauvaises influences, soit qu'ils aient trop présumé de leur puissance financière et qu'ils aient négligé d'établir avec assez de précision la balance entre le doit et l'avoir de leurs créations philanthropiques.

Ce qui se faisait était ignoré d'un atelier à l'autre.

L'Exposition d'Économie sociale a levé un coin de ce voile. Que de révélations dans les modestes brochures distribuées par les nombreux, et pourtant trop rares, exposants de cette partie de l'Esplanade des Invalides!

Nous ne pouvons que désirer ardemment l'apparition du rapport général de la Section d'Économie sociale.

Votre Société, nous n'en doutons pas, se hâtera de saisir ce volume pour en faire une analyse détaillée dans l'une de ses séances et pour vulgariser les principes que l'éminent rapporteur général de cette Section aura énoncés et démontrés.

Bien des tâtonnements nous seront évités par la connaissance des expériences de nos devanciers.

Les pays étrangers ne sont malheureusement venus nous apporter à cette occasion que bien peu de données. Ce résultat était à prévoir dans l'état actuel de l'Europe.

Mais si l'étranger ne vient pas volontiers, le Français est toujours sûr, nous pouvons l'affirmer par expérience, de trouver l'accueil le plus empressé dès qu'il va lui-même étudier sur place les questions sociales ou économiques.

Vous avez tenu à montrer l'importance que vous attachez à ces missions d'étude, quand, il y a trois ans, vous décerniez votre médaille d'or annuelle à un mémoire sur *les Lois nouvelles d'assis-*

tance ouvrière en Allemagne, en Autriche et en Suisse, fruit d'une mission de cette nature.

Saisi coup sur coup depuis huit à dix ans de projets et de propositions de lois les plus divers sur toutes les questions ouvrières et sociales, le Parlement français travaillait un peu comme dans une île déserte sur les rives de laquelle depuis de longues années n'a échoué aucun navire ; les projets se succédaient, mais les données précises manquaient pour coordonner le but et les moyens d'action.

M. le Ministre des Affaires étrangères comprit ce qui manquait et nous ne pouvons assez applaudir à la demande qu'il a adressée aux agents de la France à l'étranger, de rapports d'ensemble, avec documents à l'appui, sur l'état de la question ouvrière dans les pays où ils résident.

Dans votre séance du 6 juin, vous avez décidé qu'un appel du même genre serait envoyé à tous nos collègues étant ou ayant été à l'étranger. « Au moment, disait notre Président, M. Contamin, où toutes les questions qui se rattachent à la situation matérielle, intellectuelle et morale des ouvriers, prennent dans tous les pays une place de plus en plus large, il est essentiel que notre Société affirme, par son intervention, l'attention qu'elle porte à ces problèmes ; il est de son devoir de participer, dans une large mesure, à la préparation de solutions sages et équitables. »

Ce sont les documents de cette double enquête officielle et privée que vous nous avez chargé d'analyser devant vous ce soir, Messieurs ; sur certaines questions, nous utiliserons également des études précises et minutieuses qui ont paru dans divers recueils : le *Bulletin du Comité permanent du Congrès des accidents*, la *Réforme sociale*, la *Revue d'Économie politique*, la *Revue des Institutions de prévoyance*, le *Journal des Économistes*, etc.

Pour vous donner une idée un peu plus complète de tous ces documents, une séance entière ne serait pas de trop. Les courts instants qui nous sont accordés ne nous permettront qu'un rapide coup d'œil d'ensemble, et notre but sera atteint si nous vous inspirons le désir et la volonté de lire et d'approfondir les documents que nous ne pouvons que signaler.

Nous devons tout d'abord nous arrêter sur le *Recueil de Rapports sur les conditions du travail dans les pays étrangers*, adressés au Ministre des Affaires étrangères, en réponse à sa circulaire. Sept fascicules ont paru (1). Ils sont relatifs à l'Allemagne, l'Autriche-

(1) Chez Berger-Levrault et Cie, éditeurs, Paris-Nancy.

Hongrie, la Suisse, la Suède et la Norvège, l'Espagne et le Portugal, le Danemark et les Pays-Bas.

La Belgique, l'Angleterre, l'Italie, la Russie et les États-Unis feront l'objet d'études dont la prochaine apparition est annoncée.

Les pays ainsi étudiés se trouvent à des degrés très divers de civilisation : les uns étant plus particulièrement agricoles (comme les Pays-Bas, la Suède et la Norvège, le Portugal); d'autres, plus spécialement industriels, comme l'Allemagne et la Suisse ; il n'en est que plus frappant de voir les mêmes questions se poser, et des solutions peu différentes préconisées, les unes avec de sérieuses justifications à l'appui, mais d'autres par un esprit d'imitation dont il serait sage de se garder en pareilles matières.

« Sans bois, sans fer, sans houille, sans grandes rivières et, en « outre, sans grands capitaux et sans débouchés suffisants », le *Danemark* n'est pas un pays industriel ; et pourtant il paraît résulter de la statistique qu'un quart de la population subsiste par ces industries qui, la plupart, se rattachent à l'agriculture.

Obligatoire depuis 1814, largement gratuite pour tous ceux qui ne pourraient facilement la payer, l'instruction est universellement répandue dans ce petit pays.

Limiter le travail des enfants et jeunes gens (loi du 22 mai 1873), assurer une instruction rationnelle des apprentis (loi du 30 mars 1889), protéger les travailleurs contre les accidents de machines (loi du 12 avril 1889), telles ont été les préoccupations du législateur dans ces dernières années.

L'exemple de l'Allemagne a décidé les pouvoirs publics à préparer des projets relatifs à l'assurance contre la maladie et les accidents ; mais, avec une sage perspicacité, le gouvernement se défend de conclure avant d'avoir pu baser ses propositions sur des fondements inébranlables.

Il est frappant de voir la *Suisse* marcher avec la même prudence dans cette voie de l'assurance ouvrière.

Beaucoup plus avancé, politiquement parlant, le Gouvernement fédéral n'est pas moins prudent que le ministère danois quand il s'agit de s'engager dans la voie des réformes sociales.

Le rapport de M. l'ambassadeur Arago et l'étude toute récente de M. le professeur Raoul Jay, de la faculté de droit de Grenoble (1), se complètent l'un l'autre ; ils montrent l'action progressive des tendances socialistes qui réclament une intervention plus large de l'État dans la protection des travailleurs ; mais ils

(1) Dans la *Revue d'Économie politique*. 1re année, 1890.

laissent voir toutes les indécisions qui subsistent encore sur la forme nouvelle que doit prendre la tutelle des pouvoirs publics pour protéger les ouvriers, sans entraver l'essor de la production.

La loi de 1877 établissait la responsabilité civile des patrons dans les fabriques ; des lois ultérieures de 1881 et 1887 vinrent étendre la définition du mot *fabrique*, mais en même temps limiter la quotité de l'indemnité en cas d'accident.

En faisant peser directement les charges sur le patron intéressé, cette législation était une menace continue de ruine ; aussi dut-on reconnaître « que la généralisation de la législation sur la respon- » sabilité et la suppression des exceptions jusqu'ici admises est » difficile à réaliser » ; et que « l'assurance obligatoire contre les » accidents pourrait seule permettre d'étendre à tous une pro- » tection jusque-là réservée à quelques-uns seulement ».

Le Gouvernement fédéral qui n'avait voulu toucher qu'à la grande industrie, à celle qui emploie les moteurs mécaniques et qui groupe de nombreux ouvriers dans un même atelier, autour d'un agent dangereux, a été amené par une logique implacable à étendre l'action de la loi ; et reconnaissant que la loi demeurait sans effet du moment où elle s'adressait au petit industriel sans capitaux et sans solvabilité certaine, il a été conduit à demander au peuple le droit de légiférer sur l'assurance obligatoire. (Referendum du 26 octobre 1890.)

Le principe de l'assurance obligatoire est posé ; mais le plus difficile reste à faire, et les partisans les plus décidés de l'adoption de cette législation nouvelle ne cachent pas qu'il faudra encore beaucoup de temps pour que les Chambres fédérales aient pu se mettre d'accord sur un texte qui ait quelque chance de franchir sans encombre le cap du Referendum.

Si la loi de 1877 a dû déjà subir, dans certaines de ses parties, d'importantes modifications, il est un article dont les heureux effets sont incontestés : c'est celui qui organise l'inspection des fabriques pour prévenir les accidents.

Comme le Danemark et la Suisse, la *Suède* a, elle aussi, mis en vigueur à partir du 1er juillet 1890 (loi du 10 mai 1889), une loi spéciale relative aux mesures de précaution à prendre pour prévenir les accidents.

Comme ces pays, elle étudie l'assurance obligatoire, mais sans oser encore s'engager plus avant.

Il est certainement frappant de voir ces trois peuples, dont le gouvernement libéral et progressif peut, à bien des égards, servir

de modèle, tous trois légiférer sur les mesures de précaution contre les accidents ; mais tous trois aussi ajourner une décision sur l'assurance obligatoire jusqu'à l'achèvement d'études approfondies.

D'autres pays ont intimement lié les deux questions et les ont tranchées hardiment du même coup.

Les rapports sur l'*Allemagne* et l'*Autriche*, dans leurs parties relatives aux nouvelles lois sociales, sont des plus instructifs ; ils justifient à bien des points de vue l'attitude réservée des pays que nous nommions tout à l'heure, et une étude plus récente encore de M. l'Ingénieur des Mines Bellom sur le projet de modification de la loi des maladies, actuellement en discussion devant le Reichstag (1), est bien faite pour nous inspirer quelque défiance contre une législation qui doit, après cinq ans de pratique, subir de telles transformations. Les chiffres de la statistique des accidents continuent, année après année, à confirmer ce que disait M. Grad après examen des premiers résultats numériques (2) : « Une des conséquences de l'assurance obligatoire a été un affaiblissement immédiat des sentiments de dignité et des habitudes de contrôle réciproque chez les ouvriers, qui cherchent à se procurer l'indemnité la plus forte, celle réservée pour l'incapacité totale de travail. » Nombre d'entre eux aspirent, au moyen de la loi nouvelle, à se faire considérer comme invalides. »

Les statistiques de l'office impérial que nous avons résumées à diverses reprises dans le Bulletin du Comité du Congrès des accidents sont écrasantes à cet égard (3).

Le nombre des pensionnés pour incapacité partielle permanente était de :

	3 961 en 1886.
Il était monté à	8 462 en 1887,
	à 11 047 en 1888,
	à 15 699 en 1889.
Il a atteint	21 671 en 1890.

De moins de 4 000, le nombre des pensions nouvelles, par an, a passé à plus de 21 500 en cinq ans.

On comprend que les industriels se préoccupent de l'avenir que leur réservent des charges croissant avec une pareille rapidité.

(1) Congrès international des accidents du travail. *Bulletin du Comité permanent*, 2e année, 1er n°, p. 61 et suiv.

(2) Ch. Grad. *Le Peuple allemand*, p. 315.

(3) Congrès international des accidents du travail. *Bulletin du Comité permanent*, 1re année, p. 103, 146, 409 ; 2e année, p. 117.

« Dès maintenant, nous dit M. Herbette, les industriels estiment que la charge qui leur est imposée par les lois d'assurance déjà votées peut être évaluée à 400 millions de francs par an. On a en outre fait remarquer que l'Etat s'est trop engagé dans la voie de l'indemnisation par la Société, pour pouvoir se soustraire longtemps à la création d'une quatrième assurance en faveur des veuves et des enfants mineurs, qui aggravera plus encore le fardeau des cotisations (1) ».

Notre ambassadeur signale avec juste raison, nous ne dirons pas un danger, mais une iniquité qui est le résultat naturel de ces lois : « Tout ouvrier chétif ou malingre, dit-il, dont la santé incertaine paraît devoir créer des charges pour les caisses de secours, est impitoyablement refusé par les chefs de fabrique. » Il y a plus, dirons-nous aussi, tout blessé qui a obtenu une première pension, quelque petite qu'elle soit, est écarté de crainte qu'un nouvel accident ne justifie une augmentation de pension.

Ainsi, cette loi d'apaisement, cette loi qui devait dégrever largement les établissements de secours aux indigents, a au contraire pour résultat imprévu d'augmenter considérablement le nombre de ceux qui, privés de tout travail, n'auront plus d'autre asile que l'assistance publique.

Nous voudrions avoir le temps d'analyser dans leurs détails les rapports relatifs aux premières années d'application de la loi des accidents en Allemagne et en Autriche ; nous y trouverions à chaque pas la justification de la prudente allure des petits pays dont nous parlions il n'y a qu'un instant.

L'*Espagne* et le *Portugal* n'ont encore été amenés jusqu'ici à s'occuper que d'une façon très sommaire des questions ouvrières.

Notre Ministre, M. Pierre Legrand, et notre dévoué correspondant, M. de Koning (2), nous ont l'un et l'autre, par des méthodes assez différentes, présenté un tableau très vivant de la question sociale dans les *Pays-Bas*. Mais ils n'ont rien eu de nouveau à signaler sur cette question des accidents du travail qui ne s'est encore posée que d'une façon très indirecte dans ce pays essentiellement agricole.

Ce n'est pas sans impatience que nous attendons le rapport de M. de Laboulaye sur la *Russie*, où la réglementation des mesures préventives contre les accidents a déjà été l'objet d'une sérieuse attention du gouvernement.

(1) Recueil de rapports sur les conditions du travail dans les pays étrangers adressés au Ministre des Affaires étrangères. Allemagne, p. 10.
(2) Etude manuscrite déposée aux archives de la Société des Ingénieurs civils, 1890.

Notre correspondant, M. Monteil (1), nous donne une idée très nette de ce qu'est cette industrie métallurgique encore si primitive de l'Oural. Après avoir lu ses descriptions si fortement appuyées de données précises, on comprend que la question spéciale que nous suivons de pays en pays ne soit pas encore née dans ces lointaines vallées.

Nous avons à peine jalonné une piste. Que d'autres à suivre ! par exemple la *réglementation du travail des femmes et des enfants*. Mais pourquoi referions-nous le travail si approfondi de M. Bellom dans le *Bulletin des accidents* (2) ?

Cette question si actuelle des *heures de travail* est touchée par nos correspondants comme par les rapports officiels ; partout on voyait l'ouvrier accepter sans peine, il y a deux ans encore, neuf et dix heures de travail, et pourtant, comme une traînée de poudre, la question des huit heures de travail se pose aujourd'hui dans tous les corps de métiers de tous les pays. Le monde est toujours le même, et il suffit d'un Pierre l'Ermite laïque pour entraîner le monde ouvrier tout entier à saisir les *trois-huit* qu'on agite devant ses yeux, comme jadis ces preux chevaliers, nos ancêtres, saisissaient l'emblème de la croisade.

En face de pareilles agitations, un grand devoir de modération s'impose à nous tous, dans nos rapports avec nos ouvriers.

A nous, Messieurs, par notre attitude journalière, de leur inspirer assez de confiance pour qu'ils viennent solliciter nos conseils dans ces heures critiques et qu'ils nous écoutent quand nous leur montrerons les dangereuses conséquences de pareils entraînements.

(1) Étude manuscrite déposée aux archives de la Société des Ingénieurs civils, 1890.

(2) Congrès international des accidents du travail. *Bulletin du Comité permanent*, pages 265 et suivantes.

NOTE

SUR

L'UNIFICATION DES MÉTHODES D'ESSAIS DES MATÉRIAUX

PAR

M. L. DURANT

Dans la séance du 6 février dernier, notre collègue, M. Candlot, qui, de même que M. Debray, Ingénieur des Ponts et Chaussées, assistait à la conférence tenue à Berlin les 19 et 20 septembre 1890, a développé avec clarté la question d'uniformisation des essais en ce qui concerne les matériaux de liaison, les chaux, les ciments, etc.

Je viens aujourd'hui vous exposer cette même question d'unification en ce qui concerne les métaux entrant dans la construction des appareils mécaniques et autres.

Il me paraît d'abord utile de retenir, pendant quelques instants, votre attention à l'examen des travaux les plus intéressants qui ont été produits en France dans ces dernières années au sujet des essais de résistance des matériaux; je les résumerai d'ailleurs aussi succinctement que possible, en analysant la remarquable étude qui a été présentée par M. E. Cornut au Congrès international de mécanique appliquée tenu à Paris pendant l'Exposition de 1889.

M. Cornut commence son rapport en passant en revue :

Les conditions d'épreuve actuellement imposées pour la fourniture des tôles de fer et d'acier par la marine française et par la marine royale anglaise ;

Les divers cahiers de charges en usage dans les administrations de l'État et dans les grandes Compagnies de chemins de fer, où le fer, l'acier, le cuivre, la fonte, etc., sont employés pour les besoins les plus variés de la mécanique ;

Les articles principaux des traités qui ont été élaborés pour la fourniture des tôles d'acier à l'Association des propriétaires d'appareils à vapeur du Nord de la France.

D'une manière générale, la conclusion qui se dégage de cet exposé est que, si l'unification manque encore pour les méthodes d'essai employées, les plus grands efforts sont faits pour assurer la sécurité, car partout, au moyen d'épreuves à chaud et à froid, on s'applique à se rendre compte des qualités des matières, comme ténacité, élasticité, homogénéité, ductilité et soudabilité, et aussi comme dureté, quand cette condition est reconnue nécessaire.

La résistance et l'allongement sont garantis par les essais à la traction.

L'examen des cassures permet de se rendre compte de l'homogénéité du métal, et j'ajouterai que, dans beaucoup de circonstances, l'emploi de l'eau acidulée pour attaquer le métal permet aussi de se rendre compte de sa constitution et de son homogénéité.

La soudabilité est facile à constater par des épreuves à chaud.

La ductilité est contrôlée par des pliages et des poinçonnages à chaud et à froid et par l'examen des allongements et des strictions.

Enfin, la dureté des métaux à frottement est étudiée au moyen de poinçons à froid dont l'action est repérée sur un métal étalon.

Après avoir constaté d'une manière générale les exigences des divers cahiers de charges, M. Cornut entre dans les détails des méthodes employées et il consacre un important chapitre aux essais de traction qui tiennent en effet la première place parmi les moyens d'investigation à la disposition des Ingénieurs; le plus souvent, d'ailleurs, les essais de traction suffisent.

L'influence du mode de préparation des barreaux d'essais sur les résultats est d'abord examinée; les effets du poinçonnage et du cisaillage sont mis en relief par les expériences de MM. Barba et Joëssel, desquelles il résulte que le recuit des éprouvettes suffit pour remédier à la modification toute locale que le travail de l'outil a fait subir au métal. De son côté, M. Gallon estime que si on prend certaines précautions pour le découpage des barrettes, celles-ci ne subissent aucune altération par le fait des machines-outils.

Ensuite il est question de l'influence, sur le métal, de l'étirage au marteau et au laminoir; il ressort des expériences de MM. Clay, Kirkaldy, Le Basteur, Fairbaun et Barba que le forgeage et le

laminage à chaud, maintenus dans certaines limites, augmentent très sensiblement les propriétés résistantes et ductiles des aciers. Quant au martelage et au laminage à froid, ils augmentent la charge de rupture, mais au détriment de l'allongement qui diminue. Pour ces raisons, si on veut juger exactement la qualité des matières qui doivent être employées à la confection des pièces sans qu'il soit nécessaire de les forger, on doit découper les barrettes d'essai, à froid, dans la matière elle-même et s'abstenir de faire des essais sur des éprouvettes forgées.

L'influence considérable de la chaleur sur la résistance des métaux a été, depuis plus de vingt ans, traitée par un grand nombre de savants. Plus récemment, elle fut mise en évidence par les travaux de MM. Kollmann, Adamson, Joëssel, André le Chatelier, Reinau et Bauschinger. Dans la pratique, il se dégage de ces diverses recherches que les métaux ne sont jamais, *dans les conditions normales de leur travail*, portés à des températures pouvant amener un affaiblissement sensible de leur résistance. Cependant, il y aurait lieu de s'en préoccuper si l'on augmentait encore dans certaines proportions le timbre des chaudières à vapeur. A 20 *kg*, par exemple, pression qui ne paraît pas impossible d'obtenir pratiquement, la température du métal serait à prendre en considération.

Enfin les expériences de M. Henri Tresca ont appelé l'attention sur l'influence des tractions réitérées qui ont pour effet de reculer sensiblement la limite d'élasticité; il faut donc s'abstenir dans les essais de procéder de la sorte, car les indications fournies par cette manière d'opérer pourraient induire en erreur et conduire à une fausse sécurité, la rupture devant être très voisine de la limite élastique.

L'auteur du rapport analyse ensuite les essais à la traction :

1° La période élastique dans laquelle il faut distinguer l'élasticité absolue non palpable par les moyens ordinaires de mesurage, et l'élasticité pratique, celle qui correspond à un allongement permanent, il est vrai, mais peu appréciable avec les instruments ordinaires;

2° La période de déformation, qui suit la période élastique jusqu'au maximum de résistance, qui correspond au commencement de la striction;

3° La période de rupture, qui comprend l'affaiblissement de section jusqu'à la rupture de l'éprouvette et pendant laquelle la charge décroît.

Il fait ressortir la différence qui existe entre la charge maxima de résistance et la charge de rupture, différence qui, d'après les expériences de M. Adamson, peut être très importante pour les métaux doux et ductiles. En exprimant les résultats des essais de traction au kilogramme par millimètre carré de la section primitive, on commet deux erreurs, en sens inverse, mais d'inégale importance, l'une pour la résistance que l'on évalue trop forte pour la rupture, l'autre pour la section primitive qui ne correspond plus à celle de la section de rupture. Il serait d'ailleurs assez complexe de déterminer exactement la résistance par millimètre carré de section en tenant compte des conditions de résistance et de section qui se correspondent. Il est donc probable que l'on continuera à suivre les errements actuels. Ce qui donne d'ailleurs des résultats, sinon absolument exacts, du moins très comparables.

La striction est ensuite examinée. C'est, comme on le sait, une diminution de section qui commence au moment où la charge est maxima et finit avec la rupture ; tantôt on la considère comme la section finale, tantôt comme la diminution de la section primitive ou contraction. D'après M. Considère, la striction est une mesure simple et unique, tandis que l'allongement total à la rupture est un composé complexe de l'allongement élastique, de l'allongement permanent et de l'allongement de striction. Cette striction est d'ailleurs peu ou point variable suivant les dimensions des éprouvettes, ainsi que l'ont montré les expériences de MM. Le Basteur, Considère et Barba. Bien que la seule cause qu'on puisse lui donner réside dans une différence d'homogénéité de la matière, il n'en est pas moins indéniable qu'elle donne d'une façon très palpable la mesure de la ductilité du métal; c'est donc une des meilleures bases de comparaison de qualité.

M. Cornut passe ensuite à l'examen des différentes causes qui peuvent faire varier les essais à la traction.

L'influence des têtes, des sections et des longueurs a fait l'objet d'un grand nombre de recherches de MM. Barba, Le Basteur, G. Marié, Tirkaldy, Fairbaim, Bauschinger, Marché, Cornut. Diverses formules ont été proposées pour rendre les comparaisons possibles. On doit citer surtout celle de M. M. Barba, appelée loi de similitude, d'après laquelle des éprouvettes d'essai de même matière, et semblables dans leurs dimensions, se comportent de même dans les essais de traction au point de vue des charges à la limite d'élasticité et à la rupture et de l'allongement pour cent. Mais on peut dire qu'en raison de la diversité des formes usitées

pour les éprouvettes, une unification s'impose si l'on veut avoir des résultats facilement comparables.

La durée de l'essai paraît avoir une influence sur la résistance et l'allongement à la rupture ; mais en présence d'essais contradictoires, on peut dire que cette question est encore obscure et il faudrait que des expériences nouvelles et répétées fussent faites avec beaucoup de précision pour l'élucider.

Le rapport de M. Cornut traite aussi la question de la fragilité et de la résistance des métaux au choc ; il rend compte des épreuves faites au moyen de matières explosives, de celles imposées par l'artillerie de marine, des essais au choc faits par le comptoir des forges suédoises et fait ressortir combien il est nécessaire pour la comparaison des essais au mouton de s'entendre sur les conditions d'établissement de ces appareils d'essai puisque, suivant que ces appareils sont établis dans telles ou telles conditions, le rapport du travail perdu au travail total est très variable.

Il est dit ensuite quelques mots de la dureté des métaux et des essais faits par le colonel Rosset au moyen d'entailles produites dans les différents métaux par un couteau de forme spéciale sous un effort constant et déterminé.

M. Cornut parle aussi de la limite d'élasticité et des idées nouvelles qui ont été émises à ce sujet depuis les travaux de MM. Tresca, Werthems, Bauschinger, desquelles il résulte qu'il n'y a pas de limite théorique d'élasticité, toute charge, si minime qu'elle soit, produisant un allongement permanent. Il y a donc un accord à établir sur ce que l'on conviendra d'appeler la limite d'élasticité pratique.

Ce court résumé ne peut être, Messieurs, qu'un aperçu bien incomplet des questions traitées par l'auteur du rapport. J'avais surtout pour but, avant de vous parler des conférences tenues à l'étranger, de vous montrer que la question nous préoccupe aussi vivement en France.

La conclusion du rapport de M. Cornut est qu'il est nécessaire d'introduire une certaine uniformité dans les méthodes d'essai des matériaux et de choisir des unités communes pour exprimer les différents résultats obtenus.

Tous les industriels, tous les ingénieurs, tout le monde, puisqu'il s'agit de sécurité, tout le monde est intéressé à soutenir le vœu, émis par les membres du Congrès de mécanique appliquée, *que le gouvernement français prenne auprès des gouvernements étrangers l'initiative de la réunion d'une commission internationale ayant*

pour mission d'introduire une certaine uniformité dans les méthodes d'essai.

Nous sommes tous convaincus que ce vœu se réalisera ; la présence de M. le Ministre des Travaux publics au milieu de nous montre quelle est la sollicitude du gouvernement pour toutes les questions qui intéressent l'industrie.

J'avais ces jours derniers sous les yeux un projet de règlement, concernant les ponts métalliques, qui a été élaboré par une commission spéciale chargée par M. le Ministre des Travaux publics d'examiner quelles modifications il convient d'apporter à la circulaire de 1877 relative aux épreuves de ces ouvrages. Cette commission, sous la direction de M. Dupuy, inspecteur général des Ponts et Chaussées, a terminé son œuvre ; elle a fixé la limite du travail du métal et proposé les épreuves de réception. La réglementation de cette importante question sera donc bientôt définitive. Je tenais à vous signaler ce résultat comme un heureux présage de la réalisation du vœu que je rappelais tout à l'heure.

J'aborde maintenant de nouveau le sujet de cette communication en examinant où en est l'état de la question dans les pays voisins.

Dès l'année 1884, M. le professeur Bauschinger a réuni à Munich une conférence d'ingénieurs compétents dans le but d'arriver à une méthode unique d'essais de matériaux. Cette conférence se composait de 79 membres venus d'Allemagne, d'Autriche-Hongrie, de Russie et de Suisse. Une série de questions importantes fut traitée dans cette conférence. Un certain nombre d'autres questions furent soumises à une commission permanente qui les discuta en septembre 1885 et proposa les résultats de sa délibération à une conférence tenue à Dresde en septembre 1886 et qui réunit 40 membres.

Je vais résumer les principales décisions qui ont été prises à la suite des deux premières conférences.

DÉCISIONS GÉNÉRALES

1. Chaque machine destinée à l'essai des matériaux doit être disposée de telle sorte qu'elle puisse facilement être vérifiée ; elle doit de plus fonctionner sans chocs et, par conséquent, agir par vis ou par pression hydraulique.

2. Les griffes doivent être telles que tout l'effort se trouve bien réparti sur toute la section de l'éprouvette. Donc, pour la

compression, il faut des surfaces bien planes et bien parallèles, et du jeu de chaque côté de la pièce comprimée ; pour la traction, une disposition permettant à l'éprouvette de se placer convenablement au début de l'essai, soit un coussinet sphérique pour les pièces cylindriques, soit pour les éprouvettes à section rectangulaire, un boulon d'articulation ou un serrage à coins.

3. Il n'est pas possible de recommander un appareil type.

4. Les résultats d'essais doivent mentionner le type de machine et la méthode d'essai employés.

5. Les résultats doivent aussi faire connaître autant que possible les conditions de confection des éprouvettes, et les conditions physiques ou chimiques indiquées par le microscope ou des analyses. Ces dernières indications ne sont, il est vrai, très utiles que lorsqu'il s'agit de recherches scientifiques.

6. La durée de l'essai a certainement de l'influence sur les résultats, mais, en raison de la difficulté de s'en rendre compte, les recherches seront continuées.

7. L'essai doit être basé sur le genre de travail auquel les matériaux doivent être soumis.

8. Ceux des matériaux qui, dans leur application, sont soumis à des chocs doivent, pour être pratiquement connus, être soumis à des essais de choc.

9. Les essais de choc doivent être faits avec un appareil type; mais il a été décidé :

a) Qu'il n'y a lieu à prescription que pour les parties qui peuvent avoir de l'influence sur l'essai.

b) Que chaque appareil doit être contrôlé et poinçonné officiellement.

c) Il est admis que les moutons peuvent avoir 500 à 600 *kg*, et il est recommandé d'employer ceux de 500 *kg*.

d) Le mouton doit être en fonte ou en acier forgé. Son centre de gravité doit être situé aussi bas que possible. La partie qui frappe doit être en acier forgé ; le centre de gravité de ces différentes parties doit se trouver sur la verticale de l'axe des guides. Cet axe doit être tracé sur le mouton et sur la chabotte.

e) La longueur guidée du mouton doit être au moins égale à deux fois la distance entre les guides, qui doivent être métalliques. Ils doivent être graissés avec de la plombagine.

f) Le déclenchement ne doit pas faire osciller le mouton, et par

suite ne pas le faire toucher aux guides. On recommande l'appareil indiqué ci-contre, qui est prescrit en Russie (fig. 1).

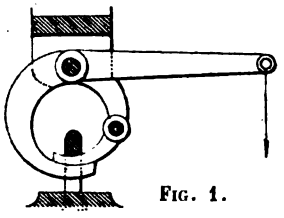


Fig. 1.

g) Si la hauteur de chute est constante, il vaut mieux employer un appareil automatique.

h) Les cales sur lesquelles on fait reposer les pièces à essayer doivent être fixées à la chabotte, de manière à constituer une seule masse.

i) Le poids de la chabotte doit être au moins dix fois égal à celui du mouton.

k) Les fondations de la chabotte doivent être en maçonnerie et non élastiques.

l) La partie inférieure du mouton doit être bien entretenue et parfaitement unie. Le choc devra donc avoir lieu sur une cale dont la partie inférieure épouse la forme de la pièce et dont la partie supérieure est bien plane.

m) Les résultats des expériences ne sont pas assez concluants pour pouvoir préciser quelle est la meilleure forme à donner aux cales sur lesquelles reposent les pièces à essayer et à celles qui reçoivent le choc.

n) On recommande de ne pas dépasser la hauteur de chute de 6 *m*; les appareils sont plus faciles à installer ainsi dans de bonnes conditions. S'il faut une force vive très grande, il vaut mieux utiliser un mouton de 1 000 *kg*.

o) Le travail du mouton étant une fonction de son poids et de la chute, il faut adopter pour le poids utile du mouton un chiffre rond en tenant compte des pertes dues au frottement.

p) Pour déterminer le poids utile du mouton, on peut opérer comme suit :

α. On interpose entre le mouton et sa corde une balance à ressort, et on lit pendant une descente suffisamment lente le poids qui est ainsi diminué du frottement. Le poids accusé quand le mouton est arrêté brusquement donne le frottement par différence.

β. On détermine le poids d'après l'effet qu'il produit, après une course déterminée, sur un cylindre-type en cuivre dont la forme reste encore à déterminer.

q) Des cylindres de cette espèce doivent servir également à comparer les moutons entre eux et à les contrôler.

r) Les appareils de choc dont le frottement est supérieur à 2 0/0

du travail utile sont à rejeter, de même que ceux qui sont mal entretenus.

La conférence a en outre établi les principes suivants pour l'exécution des essais :

s) Le mouton est principalement destiné à essayer les pièces entières, tels que rails, essieux, bandages, ressorts, etc.

L'essai au choc des pièces façonnées peut évidemment être utile, mais il s'agit alors de petits moutons qui ne servent en général que dans les recherches de laboratoire.

t) On devra vérifier la verticalité des guides et la position du mouton de même que celle des pièces à essayer, même après les chocs.

u) On devra s'arranger que les deux facteurs du travail donnent un produit qui soit toujours un multiple ou un sous-multiple de l'unité qui est la *tonne métrique*. On divisera la règle en demi-tonnes métriques.

v) On recommande de choisir des règles graduées mobiles afin de pouvoir mettre le zéro à la hauteur convenable.

w) La détermination à 0,001 *m* près de la flèche de courbure mesurée sous une corde de 1 *m* à 1,50 *m* a été considérée comme suffisante.

x) On recommande de mentionner toutes les particularités de l'essai (interruption de l'essai, retournement de la pièce).

y) Dans le but d'unifier les méthodes d'essai, la commission permanente devra étudier toutes les nouvelles propositions concernant les appareils de choc et recueillir les expériences faites.

ESSAIS DU FER ET DE L'ACIER

A. Rails.

1. Les rails doivent pour raison de sécurité être soumis à des essais au choc.

2. Si on désire d'autres indications, on fera des essais de traction.

3. On doit aussi les soumettre à des essais de flexion pour connaître :

1° La limite d'élasticité ;

2° La flexion quand la limite d'élasticité est dépassée.

On a admis à l'unanimité que les essais de traction seuls sont insuffisants, en donnant comme preuve les contradictions relevées par M. Tetmayer entre les résultats des essais de traction et ceux en service.

4. Les éprouvettes de traction doivent être de section rectangulaire et renfermer les fibres extérieures du rail.

5. Les recherches d'essais sur l'usure des rails et des bandages sont très longues et ont été soumises à la commission permanente.

6. On engage les administrations de chemins de fer à rechercher l'influence des bandages de différente nature sur l'usure des rails.

B. Essieux

1. Le corps et les fusées d'essieux doivent être essayés au choc.

2. Des essais de traction seront également faits si on veut des indications plus complètes.

3. Il est inutile d'essayer les essieux à la flexion.

C. Bandages

1. Les bandages doivent être essayés au choc, comme les essieux et les rails.

2. On fera des essais de traction si l'on désire encore d'autres indications (1).

3. Les essais de martelage sont inutiles.

D. Essai individuel des pièces

1. Il est désirable de collectionner un grand nombre de pièces de détail pour déterminer des conditions d'essai.

2. Dans l'étude des machines d'essai, il faut tenir compte de la possibilité d'essayer toutes sortes de pièces de détail.

3. Dans cette catégorie ne sont pas seulement compris les essieux, mais toutes les pièces en fer et en acier.

La méthode qui consiste à essayer, sans les détruire, toutes les pièces d'une livraison, offre certainement plus de garantie que celle qui consiste à en essayer seulement un tant pour cent. On l'adopte pour les ressorts, les chaînes, les tuyaux, les cylindres et chaudières à vapeur, etc. En Autriche, l'essai des essieux a même donné de bons résultats; mais cette méthode offre beaucoup de difficultés qui pourraient peut-être être bien diminuées par des essais bien appropriés. C'est dans ce but que la conférence de Dresde a soumis la question à la commission permanente.

(1) A la Compagnie d'Orléans on fait aussi des essais à l'acide qui donnent les renseignements les plus utiles sur le degré d'homogénéité et de dureté comparatives des différentes parties (boudin-roulement).

E. Fer puddlé pour ponts

Le fer puddlé qui entre dans la construction des ponts doit être soumis à des essais de traction et à des essais de pliage à froid et à chaud. Les autres essais ne sont pas utiles.

F. Fer fondu pour ponts

Le fer fondu pour construction de ponts doit subir des essais de traction et de pliage à froid et à chaud ; les essais de soudure et de trempe sont inutiles. Certaines parties, les semelles par exemple, doivent être très dures et soumises à des prescriptions spéciales.

G. Fer puddlé pour chaudières

Les tôles, les cornières et les fers à rivets doivent subir des essais de traction de pliage et de forgeage. De plus les cornières et les tôles doivent subir des essais de poinçonnage.

Il est bon de faire des essais de soudure sur les cornières.

H. Fer fondu pour chaudières

Le fer fondu au Bessemer, ou aux procédés Martin, ou Thomas, doit être soumis à des essais de traction, de pliage à froid et à chaud et après trempe. Dans ce cas, l'éprouvette doit être chauffée au rouge cerise (550 à 650° centigrades), puis trempée dans de l'eau à 25°, puis pliée. Cette dernière condition de travail après trempe est indispensable. Il est nécessaire aussi de faire des essais de forgeage et de soudure. Le poinçonnage est inutile puisque ces tôles ne doivent jamais être poinçonnées.

J. Fils métalliques

Il faut leur faire subir des essais de traction, de torsion et de pliage dans deux sens opposés sur un mandrin de 5 *mm* de diamètre.

K. — Cables en fils métalliques

Les câbles doivent être soumis à des essais de traction et de choc dans le sens longitudinal.

L. Observations a faire dans les essais de traction

1. On doit observer :

a) La résistance ;

b) La striction à l'endroit de la rupture ;

c) L'allongemement suivant les indications § M ;

d) La limite d'élasticité ou de proportionnalité.

2. On recommande de faire plusieurs essais pendant le relevé, de manière à obtenir un diagramme, si l'appareil n'en donne pas un.

3. Il faut attacher de l'importance à la vitesse de l'essai.

4. Le diagramme doit surtout donner les points suivants : limite de proportionnalité, limite d'allongement, résistance maxima, rupture.

5. Le diagramme doit correspondre au point de rupture, bien que pratiquement le travail ne soit utile que jusqu'au moment où la résistance diminue ; mais on ne commet pas ainsi d'erreur appréciable et c'est beaucoup plus facile.

M. Forme de l'éprouvette de traction

1. Les éprouvettes cylindriques doivent être divisées en quatre types : 10, 15, 20 et 25 *mm* de diamètre avec une même longueur de 200 *mm* de longueur utile et 220 *mm* de longueur cylindrique.

La longueur de 200 est divisé en centimètres et l'allongement mesuré comme suit *(fig. 2)*. Supposons la rupture entre les traits

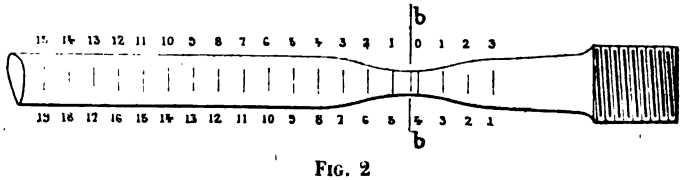


Fig. 2

4 et 5 et l'amincissement le même des deux côtés, on partage en centimètres à partir de la rupture.

On peut mesurer à gauche la longueur de 1 à 5 plus la longueur $ob + b$; du côté droit on ne peut que mesurer de 0 à 3 ; on complète par les longueurs 3 à 5 prises du côté gauche. On obtient ainsi l'allongement comme si la rupture avait eu lieu au milieu de l'éprouvette.

2. La longueur utile des éprouvettes à section rectangulaire sera également de 200 *mm*.

3. Quand on peut choisir, on adoptera pour ces éprouvettes la section normale de 30/10 *mm*.

4. Quand il s'agit de tôles, l'épaisseur est celle de la tôle. Si cette épaisseur est de plus de 24 *mm* d'épaisseur, on prend cette épaisseur pour la largeur.

5. Dans les fers plats, les cornières, les fers en T, I, ⊔, on découpe dans le sens de la longueur des éprouvettes de 200 *mm* de longueur utile et de 30 *mm* de largeur au maximum, ainsi que l'indique le croquis ci-après *(Fig. 3)* :

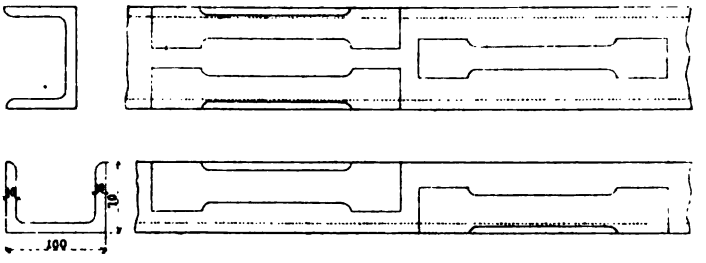


FIG. 3.

6. La croûte qui provient du laminage doit toujours subsister.

7. Il y a lieu de demander à l'État de prescrire aux laboratoires d'essai de faire des essais sur les types proposés par la conférence.

III. — ESSAIS DE LA FONTE

1. Les éprouvettes doivent avoir une longueur de 110 *cm* de longueur pour 100 *cm* utiles et une section carrée de 3 *cm* de côté.

2. On doit les couler horizontalement avec deux trous de coulée au tiers de la longueur, sinon il faudra indiquer le mode qui a été appliqué.

3. L'entrée de la coulée doit être à 15 *cm* au-dessus du moule.

4. Le moule doit être en sable et bien séché.

5. On déterminera :

a) La résistance à la flexion jusqu'à la rupture sur trois éprouvettes ;

b) La résistance à la traction sur des éprouvettes de 20 *mm* de diamètre et de 200 *mm* de longueur utile, découpées à raison de deux dans les chutes de chacune des éprouvettes de flexion ;

c) La résistance à la compression sur des éprouvettes cubiques de 3 *cm* de côté, aussi découpées comme précédemment. La pression sera exercée dans le sens de l'axe des éprouvettes primitives.

6. On conservera les faces brutes aux éprouvettes de flexion et de compression.

7. Certaines pièces de fonte, comme les tuyaux, les patins de ponts, etc., doivent subir des essais spéciaux.

IV

Les essais du cuivre, du bronze et autres métaux sont soumis à la commission permanente et remis à une conférence ultérieure.

V. — Essais des bois

1. Les rapports de réception doivent, autant que possible, mentionner : l'endroit où a poussé l'arbre; si l'arbre était entouré ou isolé; la partie de l'arbre d'où proviennent les bois, l'âge du bois et l'époque de l'abatage.

2. Trois échantillons d'un même arbre doivent être soumis aux essais.

3. On devra indiquer l'aspect de chaque échantillon comme suit:

A. L'aspect de la section longitudinale produite, autant que possible, par la hache, en mentionnant :

a) Si les fibres sont droites ou non ;

b) S'il y a des nœuds et de quelle nature ils sont.

B. L'aspect de la section transversale, en mentionnant :

c) Pour les bois poreux provenant d'arbres à feuilles ordinaires et pour les bois provenant de tous les arbres à feuilles en aiguille :

α. L'épaisseur moyenne des couches annuelles en millimètres ;

β. L'augmentation ou la diminution d'épaisseur des couches annuelles ;

γ. La disposition des couches annuelles (concentriques ou excentrées).

δ. Pour les arbres à feuilles en aiguille, la partie du bois provenant de pousses du printemps et celle qui provient des pousses d'automne.

4. On donnera la densité à l'état humide et celle à 100° centigrades environ. On indiquera le degré d'humidité de l'éprouvette.

5. Pour déterminer la qualité, on doit faire des essais de compression et des essais de flexion.

a) L'essai de compression doit être fait sur des prismes de 15 *cm* de longueur, de section carrée de 10 *cm* de côté.

b) L'essai de flexion doit être fait sur des prismes de 160 *cm* de longueur, de section carrée de 10 *cm* de côté, l'écartement des points d'appui étant de 1,50 *m*. La flexion doit être poussée jusqu'à la rupture *complète*.

c) La tension au moment de la rupture doit être calculée au moyen de la formule usitée pour la flexion.

d) La qualité est déterminée par le travail représenté par le diagramme résultant de l'effort et de la flexion.

6. Pour le contrôle d'arbres entiers où l'on constate des irrégularités, on découpera, pour chacun des deux essais, deux éprouvettes dans le milieu et deux dans l'extérieur de l'arbre.

7. Le rapport de réception sera complété par des croquis indiquant pour chaque éprouvette la position des couches annuelles par rapport à la direction de la force qui agit sur l'éprouvette. Pour l'essai des éprouvettes prises dans l'aubier, la force devra agir dans le sens du rayon de l'arbre et avoir une direction de l'intérieur vers l'extérieur.

VI. — Essais des matériaux entrant dans la construction des navires

1. Les parties en fer puddlé, telles que tôles, plaques, barres pour rivets, cornières, etc., sont à soumettre aux essais suivants :

a) Essai de traction ;

b) Essai de flexion à froid ;

c) Essai de flexion à chaud et de forgeage.

2. Les pièces en acier et en fer fondu, telles que tôles, plaques, etc., doivent être soumises aux mêmes essais et, de plus, aux suivants :

d) Essai de pliage après trempe ;

e) Essais de soudure.

Les essais doivent être faits sur des éprouvettes du type normal et comme il est indiqué pour les tôles de chaudières.

Tel est le résumé des décisions prises dans les deux premières conférences, résumé traduit de la brochure qui a été publiée en 1887 par la commission de rédaction, composée de MM. :

J. Bauschinger, professeur à l'École technique supérieure de Munich ;

F. Berger, directeur des constructions de la ville de Vienne :

G. Ebermayer, conseil à la direction générale des chemins de fer de l'État bavarois ;

D. Hartig, professeur à l'École technique supérieure de Dresde ;

L. Tetmayer, professeur à l'École technique supérieure de Zurich.

Nous avons vu, Messieurs, qu'aux deux premières conférences provoquées par l'Allemagne, plusieurs pays de l'Europe s'étaient fait représenter à celle de Berlin de laquelle je vais vous entretenir ; la Suède, la Hollande, la Belgique et la France ont également envoyé des représentants, au nombre de soixante et onze au total.

Les questions à l'ordre du jour dans cette dernière conférence, étaient les suivantes en ce qui *concerne les essais de métaux.*

a) DÉTERMINATION DE L'ALLONGEMENT

La conférence a décidé :

1° De mesurer l'allongement entre les deux points de repère et de rejeter le métal si la rupture se produit en dehors du tiers moyen de la longueur comprise entre ces deux points ;

2° De mesu er non seulement l'allongement des éprouvettes plates sur une des faces larges, mais aussi sur les faces étroites.

Cette décision a été prise comme simplification de la méthode ancienne qui consistait à diviser l'éprouvette en centimètres et à mesurer l'allongement sur la longueur de 100 *mm* au milieu de laquelle la rupture s'est produite.

b) DISPOSITIF POUR LES ESSAIS AU CHOC

La conférence a reconnu qu'il y aurait des inconvénients à prescrire un type de mouton et qu'il suffisait de soumettre à certaines conditions les parties de l'appareil qui peuvent avoir de l'influence sur les résultats des essais. Elle a, par suite, décidé qu'il y avait lieu :

1° De ne pas prescrire un appareil type ;

2° De recommander l'emploi de fer dans la construction du bâti ;

3° D'exiger pour la partie mobile un poids de 1 000 *kg* tout en accordant exceptionnellement un poids de 500 *kg*, le poids de 1 000 *kg* permettant de donner à l'appareil des dimensions assez restreintes pour pouvoir l'installer dans un local couvert ;

4° De munir l'appareil d'un mécanisme d'enclenchement permettant d'arrêter exactement le mouton à la hauteur voulue ;

5° D'engager l'union des chemins de fer allemands et les administrations étrangères de faire part à la commission permanente de l'expérience acquise dans l'établissement de cet appareil.

Je continue par l'article C de la conférence.

c) ESSAIS DU CUIVRE

Les essais à faire pour déterminer la qualité du cuivre sont les suivants :

1° Sur les plaques, feuilles et barres :

Essais de traction.

Essais de pliage à froid.

Essais de pliage à chaud.

2° Sur les fils :
Essais de traction.
Essais de pliage à froid.
Essais de torsion.

Conditions que doivent remplir les éprouvettes.

Les éprouvettes doivent être découpées dans le métal tel qu'il doit être utilisé. Elles ne doivent être recuites que si par exception cette opération est prescrite. Dans ce cas les éprouvettes non finies sont soumises à une température de 6 à 700° centigrades au plus dans un four. Quand elles ne paraîtront plus rouges à l'air, elles seront trempées dans de l'eau à 15°.

Les éprouvettes doivent être découpées et finies à froid, à la scie, à la lime ou sur la machine. On évitera autant que possible les rectifications ; si elles sont nécessaires on se servira d'un marteau en cuivre ou d'un maillet en bois. Si les éprouvettes doivent être recuites, les modifications peuvent être faites à chaud, mais avant le recuit.

La forme des éprouvettes n'est pas encore exactement déterminée ; le type admis précédemment est provisoirement maintenu ; il est probable qu'on pourra admettre de plus petites dimensions et par suite réduire les frais. Les nouvelles dimensions seront fixées quand les essais en cours seront terminés.

Les éprouvettes doivent être exécutées avec beaucoup de soin ; la dernière passe doit être très faible et faite sans interruption. Elles doivent être ensuite polies à l'émeri en les tirant de long. Les angles vifs des éprouvettes de pliage sont enlevés à la lime ; pour les éprouvettes de traction on recommande un arrondi de 1 *mm* de rayon.

Conditions d'essai.

1° Quand la limite élastique est dépassée, l'essai doit être fait à une vitesse comportant un allongement de 2 0/0 à la minute.

2° L'allongement doit être mesuré comme il est dit plus haut.

3° Pour l'essai du pliage, il y a lieu d'employer un mandrin dont le diamètre est égal à celui de la barrette à essayer, la température étant au moins de 10° centigrades.

4° Quand les deux branches de l'éprouvette seront sous un angle de 180°, on retirera le mandrin et on continuera l'essai jusqu'à ce que les deux branches se touchent ou que le métal crique ;

5° Pour les essais de pliage et de torsion des fils, il y a lieu de se conformer aux prescriptions des conférences antérieures ;

6° Pour les essais de pliage à chaud, les éprouvettes seront chauffées au rouge cerise dans un four et l'essai sera poussé jusqu'au moment où les branches se touchent ou que le métal crique.

La conférence a reconnu une certaine importance à l'essai de refoulement proposé par la sous-commission, mais ne l'a pas adopté parce que les expériences faites à ce sujet ne sont pas assez concluantes.

L'essai du pliage sur les barrettes taraudées a été complètement rejeté parce que l'habileté de l'opérateur est d'une trop grande influence sur les résultats de l'essai.

d) Essais des autres métaux et de leurs alliages

Ces essais doivent être basés sur ceux de la fonte ou sur ceux du cuivre, suivant les propriétés de la matière, et doivent comporter :

1° Des essais de traction ;

2° Des essais d'écrasement ;

3° Des essais de flexion.

e) Essais de la fonte

Il n'est rien changé aux conditions prescrites à la conférence de Dresde, mais les soufflures qui peuvent se former dans la partie de l'éprouvette où se produit la rupture, quand on coule horizontalement par des coulées situées près des extrémités ont engagé la conférence de Berlin à recommander :

1° De faire couler l'éprouvette dans une position inclinée, en donnant au châssis une inclinaison de 10 *cm* par mètre ;

2° De faire mettre l'entrée des coulées à 20 *cm* au-dessus du moule ;

3° De tolérer un témoin de 25 *cm* dans lequel peuvent être découpées au besoin les éprouvettes d'écrasement ;

4° De donner aux éprouvettes de traction une section circulaire de 18 *cm*.

Enfin, la conférence a renvoyé à la sous-commission les questions suivantes qui ont été considérées comme non résolues.

f) Influence de la vitesse sur les résultats des essais de traction.

g) Recherche de l'essai le plus concluant pour déterminer la résistance à l'usure.

h) Recherche des conditions que doivent remplir les appareils à faire les essais de flexion.

i) Recherche des conditions d'exactitudes suffisantes pour faire les essais avec les divers appareils en usage.

k) Recherche pour le fer fondu des causes de rupture inattendue qui se produit tantôt au déchargement, tantôt pendant le façonnage, tantôt en service, quoique les essais préalables aient été satisfaisants.

Pour activer cette dernière recherche, la conférence a décidé d'engager les administrations et usines à faire parvenir aux laboratoires les échantillons des matériaux qui rentrent dans ce cas et de mentionner les conditions dans lesquelles la rupture s'est produite, le mode de fabrication, le genre de travail et les essais auxquels la matière a été soumise, ainsi que tous les renseignements pouvant faciliter la recherche de la cause de la rupture.

Avant de terminer, je dois dire quelques mots du rapport qui a été présenté à la Conférence de Berlin, par M. le professeur N. Belelubsky, de Saint-Pétersbourg, sur la comparaison des formes normales à donner aux éprouvettes pour l'essai à la traction.

Il signale une série d'essais entrepris par MM. Brandt et Liachnitzki sur l'acier doux à l'institut du Ministère des Travaux publics de Russie, à l'effet de déterminer les relations existant entre l'allongement et l'épaisseur des éprouvettes de même longueur.

Jusqu'à ce jour la relation connue entre l'allongement et la dimension des éprouvettes n'est exprimée que par la loi de Barba qui dit : *Les éprouvettes de forme géométrique semblable donnent des allongements pour cent semblables et des allongements absolus proportionnels à leurs dimensions.* Cette loi implique donc des formes géométriquement semblables — cela n'est pas toujours facile à obtenir. On comprend donc qu'il y ait intérêt à connaître dans quel rapport sont les allongements de deux éprouvettes d'égale longueur mais de section différente. Les deux Ingénieurs russes susnommés ont entrepris de généraliser la loi de Barba, en examinant les trois cas suivants :

1° Les éprouvettes ont des longueurs différentes et des sections semblables;

2° Les éprouvettes de section ronde (la plus simple) et de même longueur ont des diamètres différents;

3° Les longueurs et les diamètres des éprouvettes sont différents.

Les essais n'ont pas encore été assez nombreux pour permettre

de résoudre ce problème d'ailleurs très complexe pour les deux derniers cas ; mais ils ont complètement prouvé la loi de Barba.

Tel est, Messieurs, l'état actuel de la question d'unification des méthodes d'essai des métaux. Vous remarquerez que, malgré les efforts qui ont été faits, malgré les travaux importants déjà élaborés de toutes parts, cette importante question est encore loin d'être résolue. On peut dire que si un grand nombre de points sont élucidés, il en existe aussi un grand nombre sur lesquels il règne une plus ou moins grandes obscurité.

D'ailleurs, il n'y a eu jusqu'à présent, qu'un échange d'opinions sur la nature des essais à faire et sur les meilleures méthodes à adopter. Il est bien évident aussi que ces méthodes devront varier suivant les nouvelles connaissances acquises, suivant les perfectionnements des fabrications et peut-être l'application de nouveaux matériaux.

Ce qu'il importe dès à présent, c'est surtout de fixer des dimensions uniques d'éprouvettes pour chaque espèce d'essai, et d'arriver à une certaine uniformation dans les méthodes à suivre.

Tous les Ingénieurs en reconnaissent d'ailleurs la nécessité. C'est donc déjà un pas de fait. Il suffit aujourd'hui de bien poser la question : car alors elle ne peut manquer d'être résolue à bref délai.

MINES DE NICKEL, CUIVRE ET PLATINE

DU DISTRICT DE SUDBURY (CANADA)

PAR

M. Jules GARNIER

Chargé d'une étude du nouveau district minier de Sudbury, au Canada, j'ai recueilli une série de notes qui me paraissent intéressantes, vu l'avenir probable réservé à ce district. Au point de vue géologique, j'emprunterai de précieux documents à la notice que vient de publier à ce sujet le docteur R. Bell, directeur adjoint du *Geological Survey of Canada*, aussi bien qu'au rapport adressé au gouvernement des États-Unis, à la date du 14 octobre 1890, par deux experts délégués à cet effet.

La ville de Sudbury, qui a donné son nom au district minier, est une station du « Canadian Pacific Railway » et la carte jointe à ce mémoire a précisé sa situation au nord du lac Huron et près du lac Nipissing. Ajoutons que les gisements s'étendent sur deux divisions territoriales qu'on désigne sous le nom de « Nipissing » et « Algoma ». La ville ne compte qu'un petit nombre de maisons de bois, mais on a tracé des rues d'attente très larges dans l'espoir d'un prompt développement des mines.

Tout le pays se compose de sites sauvages, de forêts insondées, dont six cents lieues carrées ont été incendiées par le prospecteur des mines, le chasseur ou le pionnier, qui mettent la torche où la hache va trop lentement à leur frayer la route ; l'incendie s'étend librement dans ces grands bois solitaires, les arbrisseaux et les branches sont consumés par les flammes, les troncs un peu gros sont simplement flambés, noircis, et restent debout avec une allure lugubre. Les forêts brûlées étaient surtout composées de pin, mais les espèces arborescentes qui ont succédé sont de moins bonne qualité : c'est l'érable *des rochers*, le chêne rouge, le bouleau noir. La marche est très difficile au milieu de ces fouillis de jeunes arbres, de troncs, de racines et de collines de 300 à 350 *m*

de hauteur, qui sont des rocs souvent abrupts et dénudés; le pied des vallées est marécageux, avec étangs souvent dus au travail des castors. On ne rencontre que rarement des lopins de terre cultivable.

Depuis l'année 1846, le gouvernement canadien était avisé par un rapport du docteur Hunt que cette partie de la province d'Ontario était riche en mines, mais le manque de moyens d'accès et de transport retarda leur mise en exploitation. Toutefois, même après le passage des rails du *Pacific Canadian Railroad*, ces richesses furent peu poursuivies; un groupe étudia pourtant la question de plus près et retint une surface de 50 000 *ha*, suivant un axe N.-E. de 40 *km* et une largeur moyenne de 18 *km*, comme étant la limite des mines; mais, après examen plus attentif, ce groupe conserva seulement une partie de cette immense surface, la plus riche à son avis, qui passa aux mains de la Compagnie « Canadian Copper C° » au capital de 12 500 000 *f;* cette Société accrut encore ce domaine par l'acquisition des mines du district de Creighton au nord-ouest.

Au point de vue géologique, ce district est placé dans une vaste zone de l'étage *huronien* et précisément dans la partie la mieux connue des géologues et la plus développée du Canada; la partie nord de cette bande *huronienne* commence près de l'est du lac Supérieur, suit vers l'est le rivage de ce lac, la rivière Sainte-Marie, la rive nord du lac Huron jusqu'à la *rivière Espagnole;* elle est limitée au sud par les eaux de ces lacs et des cours d'eau qui les réunissent et au nord par une bande de terrain de l'étage *laurentien*, elle se relève ensuite au nord-est, puis au nord, revient à l'ouest au lac Supérieur, formant une longue ceinture presque fermée et englobant une large surface elliptique de roches laurentiennes. Vers le sud-est la limite de ces deux formations s'étend par des lignes plus ou moins sinueuses jusqu'à 500 *km* environ au nord de la ville de Montréal. La longueur totale de l'axe de cette bande huronienne est de 1 000 *km*. Vers le nord le terrain huronien de l'est s'épanouit sur des espaces considérables.

De nombreuses couches de gneiss et de syénite rouge quartzeuse, souvent avec le facies *laurentien*, se montrent dans ce terrain huronien : sont-ils contemporains ou plus anciens? En tout cas, comme nous le verrons, ils sont intimement liés, avec les dionites, à la présence des minerais de nickel.

A Sudbury même les roches ci-dessus forment du N.-E. au S.-E. une longue bande de 50 *km* environ de longueur. Le gneiss

et la syénite quartzeuse, ainsi disséminés dans le district de Sudbury, passent de l'un à l'autre d'une telle façon qu'on ne saurait exactement les tracer sur une carte ; il sont souvent brisés en masses arrondies plus ou moins volumineuses, mais cimentées par une brèche à pâte dioritique.

A Sudbury le *huronien* est surtout la syénite rouge quartzeuse en large bande venant de l'ouest ; cette roche est très régulière de caractère sur plusieurs milliers de lieues carrées, sauf le passage accidentel à la syénite rouge sans quartz ou au gneiss ordinaire.

Le district de Sudbury présente de remarquables exemples de métamorphisme et des spécimens curieux de roches cristallines ; on y rencontre notamment : « des gramvackes et quartzites, diverses variétés de diorites, des schistes avec hornblende, des micaschistes, des diabases, des grès argileux, le tout accompagné de brèches volcaniques, sans compter les gneiss et syénites quartzeuses (1) ».

Des bandes de dolomite compacte, de couleur brune ou blanchâtre, se présentent souvent dans les quartzites et les grauvackes.

Parmi les formations relativement plus récentes, on remarque une bande de brèche nacrée volcanique de plusieurs milliers de pieds d'épaisseur, qui court au nord-est, dans le sud-ouest de Sudbury (depuis Vermillion Lake). Cette roche compacte, siliceuse, de cassure conchoïde, formée de fragments angulaires, assez petits, très rapprochés, bigarrés par des parties blanches angulaires, qui ne sont elles-mêmes que des fragments de pierres ponces ayant bien conservé leur structure, mais remplacés par de la silice : cette bande, résistante aux actions atmosphériques, donne à la contrée où elle fait saillie un cachet de stérilité et de sauvagerie bien remarquable.

Les roches supérieures de cet étage, et celles qui se montrent au centre, sont des grès argileux gris, séparés par des strates schisteuses et ardoisières, et, enfin, à la partie supérieure des ardoises nacrées : cette dernière formation rappelle ce qui se passe en Nouvelle-Calédonie où les serpentines à nickel, cobalt, chrome et fer, passent en s'élevant à des schistes et roches analogues à celles que nous venons de décrire. Dans la partie inférieure de la « Spanish river » cette ressemblance me paraît la plus complète.

(1) *Bull. of the geological Society of America.* Dr Rob. Bell.

A Sudbury tout le système *huronien* est traversé par des dykes souvent larges et de grande longueur, d'une diabase grossièrement cristalline, dont j'ai trouvé aussi des analogues à la Nouvelle-Calédonie et qui présente ce caractère particulier de se décomposer à la longue à la surface, formant des bancs à couches concentriques.

Quant aux gîtes de pyrites nickélifères, ils présentent encore une très grande analogie avec ceux de la Scandinavie et du Piémont ; bien plus les fiords de la Scandinavie sont ici représentés par les lacs et les cours d'eau qui les rejoignent, pendant que dans le Piémont, au voisinage des gîtes placés sur des montagnes élevées, se trouvent des vallées extérieurement profondes, souvent très resserrées néanmoins (près de Varallo, dans le Valsesia). Les géologues américains attribuent à leurs lacs une origine glaciaire ; comme ils sont formés dans les roches gneissiques du huronien dont nous avons parlé et que cette roche, à la longue, s'était profondément décomposée et désagrégée avant la période glaciaire, ils supposent que sa surface a été facilement ensuite érodée sous la puissante action des amas de glace en mouvement : peut-être serait-il permis d'ajouter à cette cause la décomposition d'amas considérables de pyrites de fer avec nickel et cuivre pyriteux qui, moins mélangés de roches que celles qu'on trouve aujourd'hui, se sont plus facilement décomposés et ont disparu à l'état de sulfates solubles ; ces sulfates très riches en cuivre ont pu déposer du cuivre métallique s'ils étaient soumis à l'influence de matières organiques ; ainsi s'expliquerait peut-être la présence des cuivres natifs du lac Supérieur et de *Vermillion mine* à Sudbury.

Mais ce n'est là pour le moment, et en ce qui concerne le cuivre métallique, qu'une hypothèse méritant un examen approfondi avant d'être établie en fait acquis ; cette solution est toutefois séduisante en ce sens qu'elle expliquerait mieux que l'action électrique, mise en avant par le savant professeur Rivot, toutes les manières d'être du cuivre natif au lac Supérieur.

De même qu'en Nouvelle-Calédonie le nickel, sans cesser d'être un hydrosilicate de nickel et de magnésie, imprègne aussi bien les serpentines que les euphotides, diorites et bancs de quartz qui les recoupent, de même ici les minerais de nickel et de cuivre se montrent tout aussi bien dans les roches *huroniennes* proprement dites, que dans les gneiss et les syénites quartzeuses, ce qui indiquerait que ces minerais sont venus des profondeurs du sol injecter les roches déjà formées ; ces minerais, qui sont un mélange de

pyrites de cuivre (chalcopyrite) et de pyrite magnétique de fer nickélifère, sont déjà reconnus depuis « Wallace Mine » sur le lac Huron et delà au nord-ouest, sur une distance de 110 *km* et, en second lieu, depuis la limite sud-est de la bande *huronienne*, dans le district de Sudbury, dans la direction du nord-ouest, sur une distance de 80 *km*.

Le Dr Bell a remarqué avec beaucoup de sagacité que dans l'immense étendue des roches huroniennes du Canada, on ne rencontre nulle part la pyrite magnétique avec cette abondance et, en second lieu, que dans ce district privilégié, quelle que soit la nature de la roche observée, elle est nickélifère dans une mesure généralement exploitable. Les minerais se rencontrent dans le voisinage des lignes de contact des diorites avec les gneiss ou la syénite quartzeuse ou dans les plans de contact eux-mêmes.

Le minerai n'apparaît jamais sans la diorite, mais le gneiss ou la syénite quartzeuse semblent avoir eu aussi une action favorable.

Dans certains cas les bancs de diorite se présentent sous la forme de brèches intercalées dans des fissures de la diorite massive; les minerais semblent alors plus abondants.

Les minerais, avons-nous dit, sont toujours un mélange de pyrite de cuivre (chalcopyrite) et de pyrite magnétique nickélifère et leur *facies*, quel que soit le gîte d'origine, est toujours le même; quant aux gîtes eux-mêmes ce sont des lentilles allongées suivant la direction d'anciennes fractures qui suivent habituellement la direction générale des roches encaissantes; ces lentilles de minerai sont un mélange des roches générales du pays et des métaux sulfurés, mais les roches stériles forment des fragments plus ou moins volumineux, cimentés, pour ainsi dire, par les minerais. C'est encore là un rapprochement très net avec ce qui se passe à la Nouvelle-Calédonie où l'hydrosilicate de nickel remplit habituellement les espaces qui séparent les roches magnésiennes et y forme depuis un simple enduit jusqu'à de véritables filons; depuis de simples nids jusqu'à de considérables amas; de même que la roche stérile elle-même, ainsi enveloppée par l'oxyde de nickel, passe de la grosseur d'une noisette à des blocs de plusieurs mètres cubes; il est vrai qu'ici, contrairement à ce qui a lieu à Sudbury, la roche soi-disant stérile (serpentine, diorite, etc.), renferme généralement une proportion de nickel assez importante. On a remarqué que le cuivre pyriteux se maintient souvent dans le milieu de la pyrite magnétique, au lieu de lui être mélangé intimement; ce même fait s'observe aussi très nettement en Norvège

et au Piémont où de la même mine, par le triage, on extrait des minerais de cuivre et des minerais de nickel et cuivre. En résumé, il n'y a aucune loi à chercher en ce qui regarde les sulfures métalliques entre eux ; on constate d'une façon certaine qu'ils sont arrivés simultanément, dans les mêmes circonstances et se sont respectivement placés de toutes les façons possibles au milieu des roches qu'ils pénètrent.

A Sudbury, on peut admettre avec M. Bell que l'énorme masse de diorite émergée à l'état fondu, est restée assez longtemps fluide pour permettre à ses divers éléments métallifères qui, d'ailleurs, ont à peu près le même point de fusion, de se localiser par attractions mutuelles ; les parties de minerais plus rapprochées des parois le long desquelles s'effectuait l'ascension de la masse fluide purent s'y figer, s'y maintenir dans l'état où nous les trouvons aujourd'hui, pendant que, à une certaine distance de ce *rivage solide*, les parties métalliques aussitôt réunies en masses importantes au sein des diorites encore suffisamment fluides, s'enfoncèrent par leur propre poids à diverses profondeurs où de futures recherches pourront les retrouver. Le même phénomène de liquation et de réunion des éléments métalliques chacun à chacun au sein d'une masse fluide, s'applique à la séparation des divers sulfures métalliques entre eux dans les centres mêmes où ils sont venus se localiser et c'est ce qu'on observe, comme nous l'avons dit.

Quoi qu'il en soit, il est intéressant de comparer les formations nickélifères de Sudbury à celles de la Nouvelle-Calédonie, et cette visite que je viens de faire aux mines du Canada me ferait revenir de ma première impression qui fut que les minerais oxydés de la Nouvelle-Calédonie s'étaient précipités d'une dissolution dans les fentes et pores des roches magnésiennes nickélifères, soit que l'oxyde de nickel vînt par exsudation de la roche magnésienne elle-même, soit qu'il dérivât de filons de sulfures changés en sulfates. Il me semble, en effet, aujourd'hui plus logique et plus conforme aux faits, d'admettre que le nickel à la Nouvelle-Calédonie est dû à une éruption distincte, qui a suivi immédiatement celle des roches magnésiennes déjà un peu nickélifères elles-mêmes, c'est-à-dire que l'éruption du minerai actuel eut lieu alors que ces roches étaient encore fluides ; ainsi s'expliquerait la division extrême du minerai de nickel au travers de la masse magnésienne qu'il découpe et pénètre de toutes les façons possibles. Le minerai fut comme le dernier effort de l'éruption générale, et il amena au jour les matières plus métallifères, c'est-

à-dire plus lourdes, qui se tenaient naturellement au-dessous dans la profondeur du sol; celles-ci, plus fluides, chassées par les forces intérieures, se dispersèrent de toute part dans la masse des roches plus pauvres en nickel qui les avaient précédées. Plus tard les eaux de la surface, sous forte pression sans doute, pénétrèrent dans les joints minéralisés, à la faveur des vides laissés par le retrait qui accompagna le refroidissement général de la masse, et purent hydrater les minerais avec l'intensité que nous trouvons aujourd'hui et leur donner certainement la belle couleur « vert nature » qu'ils possèdent à présent. Je ne pense pas qu'il y ait quelque honte à changer d'avis à mesure que des études comparatives permettent de mieux distinguer. Il est certain que dans les explications que je donnai tout d'abord de la formation des minerais de nickel calédoniens, je n'avais pu faire intervenir des faits généraux que les études des gîtes de Sudbury ne m'ont enseignés que depuis peu. Toutefois, la différence de densité entre le minerai et le stérile étant plus grande à Sudbury qu'à la Nouvelle-Calédonie, il y a plus de chance à Sudbury pour que, par liquation, une plus grande quantité de minerai, soit descendue en profondeur, et l'on devra probablement s'attendre dans l'avenir à exploiter le minerai par des puits très profonds ; mais, en même temps, l'enrichissement en profondeur ira en progressant. A la Nouvelle-Calédonie, au contraire, le minerai généralement un peu moins fusible que la roche encaissante et d'une densité sensiblement égale, a dû se maintenir à peu près en entier dans les régions supérieures.

Les minerais de Sudbury, malgré les rapports du Dr Hunt en 1846, qui les indiquait comme nickélifères, furent d'abord pris et exploités pour minerais de cuivre ; mais à la fonderie on reconnut l'erreur ; il ne faudrait pas croire que des mines de cuivre proprement dites n'aient pas été observées dans le district ; au contraire, le terrain *huronien* en renferme habituellement beaucoup et on les a déjà signalées en divers points de la bande huronienne de 1 000 *km* de longueur dont nous avons parlé ; c'est là une question de temps et il ne fait doute pour aucun géologue que cette contrée ne devienne avant peu la source d'une grande production de cuivre.

L'étain, le plomb, l'argent, le zinc ont aussi été rencontrés dans ce district de Sudbury. L'or et le platine commencent à s'y exploiter à « Vermillion Mine », qui est situé à 35 *km* à l'ouest de Sudbury. On est là en présence d'un nouveau minerai de platine

arsénié, découvert par le chimiste Sperry et décrit par M. H. L. Wells. Ce minerai mérite une mention spéciale : on exploitait un filon de quartz aurifère découvert en 1888 ; au contact du filon et de la roche stérile et placé dans de petites poches formées du minerai décomposé, on rencontrait un gravier avec pyrites de fer et de cuivre, et c'est dans ce gravier que se découvrit le minerai de platine ; on l'isole par une attaque à chaud à l'eau régale, qui dissout les sulfures; puis on dissout les silicates par une longue attaque à l'acide chlorhydrique chaud : le reliquat est un sable très brillant, accompagné de quelques grains transparents qui sont de l'étain oxydé (cassitérite). Le minerai de platine est en cristaux brisés, mais à facettes très brillantes ayant de 0,0005 *m* à 0,00005 *m*. La couleur est celle de l'étain blanc ou du platine métallique ; la poussière fine est noire. La densité est de 10,602 (abstraction faite de l'oxyde d'étain). La poussière fine du minerai flotte sur l'eau, avec persistance, bien que lavée d'abord à la potasse. Le minerai est à peu près inattaquable à l'eau régale. Par la chaleur, en tube ouvert, on a des vapeurs d'acide arsénieux, puis fusion d'un arséniure : jeté sur une feuille de platine chauffée au rouge, il fond de suite, avec fumée de AsO^3, et des excroissances poreuses se forment dans le platine (Wells).

A l'analyse, il donne :

As	40,98
Sb	0,50
Pt	52,57
Rh	0,72
Pd	traces
Fe	0,07
SuO^2	4,62
	99,46

Ce qui conduit à la formule $PtAs^2$.

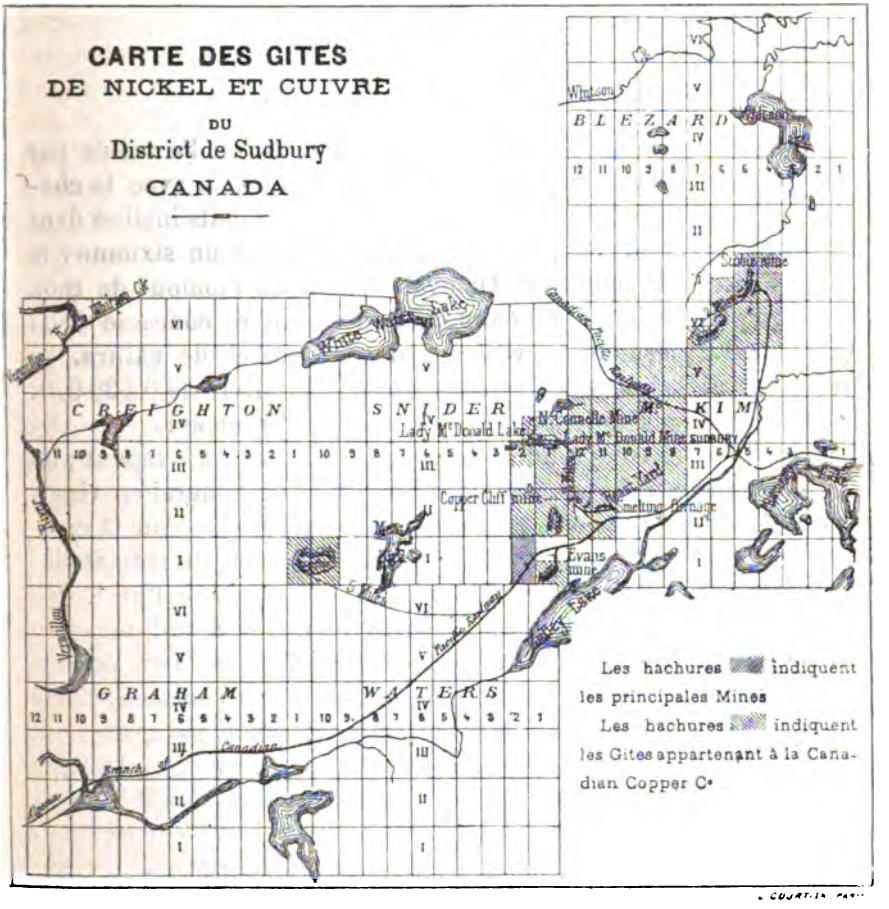
Murray avait déjà produit artificiellement cet arséniure de platine en chauffant un poids connu de platine au rouge et dans un courant de vapeur d'arsenic avec hydrogène *(Watt's dictionary)*.

Ce minerai a été dédié par M. Wells à celui qui l'avait découvert, M. Sperry, sous le nom de *Sperrylithe* (1).

La *sperrylithe* se présente souvent en cubes, quelquefois en octaèdres ; elle raie le feldspath et non le quartz (prof. Penfeld).

(1) *American Journal of Science*, vol. XXXVII, janv. 1889.

Comme ce minerai est assez abondant, mais qu'il est en pratique mêlé à de l'étain, à des pyrites de fer et de cuivre, et à d'autres métaux encore, sa métallurgie n'est pas aussi simple qu'on le croirait tout d'abord et c'est là une recherche à laquelle nous nous livrons d'accord avec les Ingénieurs des propriétaires de la mine.



Dans la carte que nous donnons du district de Sudbury, nous montrons les possessions de la principale Société, la « Canadian Copper C° », au capital de 2 500 000 dollars. Deux autres Sociétés, la « Dominion C° » et « H. Vivian and C° », de Swansea, viennent ensuite.

La « Canadian Copper C° », la première en date, a dépensé beaucoup d'argent pour l'étude géologique et pratique du district de Sudbury ; elle avait donc le choix des meilleures places ; il est de fait qu'elle possède les meilleures mines actuellement connues ;

ce fut aussi l'opinion de la commission officielle déléguée pour visiter le district en octobre 1890, exprimée nettement dans son rapport au gouvernement des États-Unis. Cette Compagnie possède quatre centres principaux d'exploitation :

1° Copper Cliff Mine ;
2° Evans Mine ;
3° Stobie Mine ;
4° Deposition Creighton Township.

La mine de *Copper Cliff* fut ouverte en 1886 ; on l'a reliée par un embranchement de grande section et de 1 600 *m* avec le chemin de fer « Canadian Pacific » ; on a foncé un puits incliné dans le gîte, on a ouvert cinq niveaux et l'on arrive à un sixième ; le puits a 200 *m* de longueur. On avait extrait au moment de mon passage plus de 50 000 *t* de minerai ; on extrait et concasse 180 *t* par jour. Le gisement ne varie pas de richesse et de nature. La teneur en nickel varie de 2 à 15 0/0, et celle du cuivre de 0 à 30 0/0 ; en moyenne, on obtient 5 0/0 de cuivre et 3 de nickel.

L'installation comprend une machine d'extraction à vapeur ; un broyeur Blake n° 5, pouvant concasser 400 *t* de minerai en vingt-quatre heures, une pompe à vapeur et son réservoir pour la compression de l'air actionnant les machines à percer, un petit atelier d'ajustage, deux chaudières de 80 chevaux de force l'une, une machine d'épuisement, etc. Les ouvriers, des Scandinaves en grand nombre, sont logés dans quarante maisons de bois confortables, ainsi que les employés. Le minerai est tiré, concassé, classé en morceaux d'égale grosseur, tout en descendant naturellement dans les wagons de la Compagnie ; ceux-ci circulent sur un viaduc en bois élevé de 5 *m*, de 1 600 *m* de longueur, aboutissant à la fonderie ; le long de ce chemin de fer on a nivelé le sol sur une longueur de 680 *m* et une largeur de 25 à 50 *m* ; on déverse les wagons sur cette aire où se fait le grillage. La surface du sol a été damée avec de l'argile mêlée de graviers, et des canaux sont ménagés pour l'écoulement des eaux pluviales.

Les tas de minerai contiennent de 400 à 600 *t* ; à la base, un lit de minerai fin de 0,20 *m* d'épaisseur, puis un lit de bois de 0,50 *m* de hauteur, dans lequel des cheminées sont ménagées pour l'arrivée de l'air ; ce bois est du pin bien sec, provenant des forêts *flambées* qui couvrent le pays. On recouvre le tout de minerai brut que les wagons viennent déverser le long des tas et qu'on reprend à la brouette ; le lit de minerai a 0,60 *m* de hauteur, il est recou-

vert de minerai menu qui modère le tirage. On met alors le feu aux bois inférieurs ; le soufre du minerai ne tarde pas à s'enflammer, remplissant l'atmosphère d'une fumée d'acide sulfureux des plus désagréables et des plus nuisibles à la végétation, le fer brûle en même temps. La durée de la combustion est de quatre à sept semaines, suivant les teneurs en soufre et en fer. Les minerais de Copper Cliff ont donné sur 139 *t* :

Cuivre	4,80	5,01	5,47
Nickel	5,89	5,31	5,69

Une analyse moyenne sur 90 *t* de minerai a donné :

Soufre	26,717	
Cuivre	12,610	
Fer	29,220	
Nickel	3,120	
Protoxyde de fer . . .	6,22	gangue 29,36 0/0.
Chaux	4,84	
Magnésie	2,61	
Alumine	2,63	
Silice	13,06	
	101,027	

Que l'on peut écrire approximativement :

Chalcopyrite ($CuFeS^2$)	36,49
Nickel et pyrite de fer ($NiFe^7S^2$)	36,18
Gangue	28,36
	101,03

Toutes les exploitations de la Compagnie doivent envoyer leurs produits dans ce point qui peut facilement porter à 360 000 *t* par an sa capacité de grillage. Le minerai grillé est chargé sur une voie au niveau du sol et parallèle à la voie surélevée qui amène les minerais crus ; cette seconde voie aboutit à la fonderie. On voit que le plan général est bien conçu pour arriver au minimum de manutention possible.

En dehors du centre de *Copper Cliff* et à 2 500 *m* au sud-ouest, se montre une colline ferrugineuse dans laquelle une sonde à diamant était à 60 *m* au moment de mon passage, sans être sortie du minerai ; un puits d'environ 30 *m* de profondeur était foncé;

et, sauf quelques alternances de diorite, il était toujours en plein minerai.

L'installation mécanique est parfaite et analogue à celle décrite ci-dessus, mais plus puissante ; quatre chaudières de 220 chevaux alimentent les machines, un embranchement de 800 *m* se reliant à la grande ligne permet d'amener les minerais au champ de grillage dont nous avons parlé.

Une troisième exploitation est établie à *Stobie Mine*, à 5 1/2 *km* au nord de Sudbury, près d'un embranchement du « Canadian Pacific », qui dessert cette mine et celle de *Blizard*, éloignée de 400 *m*. Les travaux ont commencé en 1887 : c'est aujourd'hui une exploitation en carrière des plus faciles, dans laquelle on abat le minerai, qui forme ici une colline, sur une longueur de 100 *m* et une hauteur de 15 *m* ; la limite où s'arrête le minerai n'est pas encore atteinte, on y fait en ce moment 100 *t* par jour. Il y a un concasseur Blake de 400 *t* par jour de puissance, des machines à comprimer l'air et à percer les coups de mine.

Comme richesse moyenne, l'ordre est le suivant : 1° Copper Cliff Mine ; 2° Evans Mine ; 3° Stobie Mine.

Le mélange convenable des trois minerais, après leur grillage, donne une fusion facile sans addition d'aucun flux, ce qui présente un grand avantage.

La même Compagnie possède les mines de *Creighton*, qui sont situées à 8 *km* environ de la station de Noughton, dans une contrée très difficile d'accès ; le gisement, qui est des plus importants, semble former une série de collines de 120 *m* de hauteur, s'étendant sur une surface horizontale de 2 500 *m* dans un sens, sur 1 000 *m* dans l'autre. Il y a là pour l'avenir une réserve de minerai qui semble considérable.

Les minerais des trois mines en exploitation, après grillage, sont chargés dans les fours à fondre, suivant une proportion établie par les chargeurs, qui reconnaissent facilement à l'aspect les proportions qu'il faut donner pour obtenir une bonne fusion et une matte de composition convenable et donnée par l'Ingénieur.

Les fours de fusion sont du type Water Jacket, brevetés par M. Herreshoff : ils ont une section elliptique de 2 *m* sur 1 *m* aux tuyères, qui va en augmentant jusqu'au gueulard débouchant à 3 *m* de hauteur. La double enveloppe est en tôle d'acier avec un vide de 0,05 *m* ; le fond est une plaque de fonte protégée par une rangée de briques réfractaires. Le tout est supporté par quatre colonnettes en fer. Un dôme léger en tôle d'acier, garni de bri-

ques intérieurement, recouvre le fourneau ; c'est sur l'un des côtés de ce dôme, au même niveau que la provision de matières premières, que se trouve la porte de chargement. Une chambre à poussière réunit le dôme à la cheminée. L'avant-creuset est composé d'une double enveloppe de fonte, avec vide intermédiaire de 0,15 *m* ; il est porté par quatre roues, afin qu'on puisse aisément le changer pour les réparations : une ouverture carrée, sur l'un des côtés, garnie d'argile réfractaire, correspond comme niveau à une ouverture identique dans le fourneau ; c'est par là que la matte et les scories passent du fourneau dans l'avant-creuset. Le vent, lancé par des ventilateurs, arrive dans le fourneau par onze tuyères et sous la pression de 0,04 *cm* de mercure environ. Le personnel d'un four à fondre comprend : deux mécaniciens, deux fondeurs et six hommes pour les charges, l'enlèvement des scories et des mattes.

La charge se compose de 900 à 1 000 *kg* de minerai et coke, mêlés dans la proportion de 8 de minerai pour 1 de coke, et l'on fond de 120 à 150 *t* par vingt-quatre heures. Le laitier coule constamment dans des pots en fonte et sur roues ; quant à la coulée de la matte, elle se fait à la manière ordinaire. Le minerai chargé contient encore habituellement 7 à 10 0/0 de soufre et son fer est oxydé ; quant à la matte, sa composition varie dans d'assez larges mesures suivant la proportion de minerais des diverses mines qu'on emploie. Voici des analyses de mattes qui fixeront les idées ; elles sont faites dans un laboratoire admirablement organisé par un chimiste en chef et deux aides ; le nickel et le cuivre sont dosés électrolitiquement :

Cuivre	26,910
Nickel	14,140
Fer	31,235
Soufre	26,950
Cobalt	0,235
Scorie	0,935
	100,405

Le chef du laboratoire est M. Sperry, chimiste de la Compagnie et découvreur du minerai de platine arsénié ; il m'a communiqué

les essais suivants dont chacun correspond à la moyenne de 100 *t* de minerai fondu :

Cuivre. .	21 »	29 8	22,30	20,68	20,71	20 »	21 »
Nickel. .	17,18	17,10	17,46	18,03	17,91	16,68	17,18
Cuivre. .	19,54	20,22	27,12	24,20			
Nickel. .	17,72	19,54	17,73	18,54			

On voit que les relations du cuivre et du nickel sont très variables. Depuis mon passage on s'est appliqué, par un choix et un mélange plus judicieux des minerais, à obtenir des teneurs plus régulières et surtout à faire dominer le nickel pour les besoins de la métallurgie définitive ; on est heureusement arrivé à ce but et les mattes actuelles titrent, pour le courant du mois de février :

Cuivre.	16,94	16,95	17,84
Nickel.	19,40	21,47	23,45

Les scories de four de fusion fournissent :

Silice.	38 »
Oxyde de fer	43 »
Chaux	4,50
Alumine	10 »
Soufre	2 »
Nickel	0,45
Cuivre	0,40
Magnésie	2,50
	100,85

On peut se rendre compte des prix de revient en s'appuyant sur les éléments suivants :

Bois sec de pin, 2,50 *f* le mètre cube ;

Minerai rendu au grillage, 10 *f* la tonne ;

Le coke à 10 0/0 de cendre, 34 *f* la tonne ;

Main-d'œuvre, de 7 à 12 *f* par jour.

Les mattes sont expédiées pour le moment dans les raffineries d'Europe ou des États-Unis. On élève une raffinerie à Pittsburgh, d'après la méthode du Dr Emmons, qui tient son procédé secret. La « Canadian Copper Co », propriétaire des mines susdites, élève aussi une raffinerie aux États-Unis suivant un de mes brevets qu'elle a acheté ; cette usine, destinée à passer toute la pro-

duction de la Compagnie, sera naturellement la plus importante comme production.

La question du raffinage d'un produit aussi complexe et de la séparation du nickel du cuivre a fait l'objet d'études nombreuses et de non moins nombreuses controverses ; à la suite des essais à ma connaissance, j'ai lieu de considérer ces questions comme résolues en ce qui concerne la « Canadian Copper C° », et cela dans de bonnes conditions économiques, car l'Américain a appliqué là, ce qui est le fond de son caractère pratique, cette maxime : savoir ne rien négliger dans l'étude préalable, ni ensuite dans la perfection de l'installation, afin d'arriver le plus sûrement possible au plus bas prix de revient possible.

Le *water-jacket* n° 1 de la « Canadian Copper C° » a été mis en feu pour la première fois le 24 décembre 1888 et a marché sans arrêt jusqu'au 31 décembre 1889, soit pendant deux cent cinquante-neuf jours de vingt-quatre heures ; il a passé 31 268 *t* de minerai qui ont donné 3 849 *t* de mattes contenant en moyenne 18 0/0 de cuivre et 13 0/0 de nickel. On a consommé 3 958 *t* de coke coûtant, rendu à la fonderie, 34 *f* la tonne. Le water-jacket n° 2 a été mis en feu le 24 septembre 1889 et a marché pendant soixante-treize jours consécutifs, jusqu'au 31 décembre, fondant 9 740 *t* de minerai et produisant 1 210 *t* de matte analogue à la précédente ; la consommation en coke a été de 1 169 *t*.

La « Dominion Mineral Company » vient après la « Copper Canadian C° » comme importance ; elle exploite la mine « Blezard », à 7 1/2 *km* au nord de Sudbury et près d'un embranchement du chemin de fer *Canadian Pacific*. Trois puits verticaux sont formés dans la colline, ayant respectivement 30 *m* de profondeur ; à ce niveau on a pris des galeries d'abatage et depuis le 15 juillet l'extraction du minerai s'est élevée à 45 000 *t* ; l'éclairage à l'intérieur se fait au moyen de l'électricité : l'extraction serait de 180 *t* par jour. La colline minéralisée a environ 30 *m* de hauteur et 160 *m* de diamètre. L'installation en broyeur, compresseur d'air et autres engins mécaniques est la reproduction servile de ce que nous avons dit pour la « Canadian Copper C° » ; le champ de grillage oxyde en ce moment 13 000 *t* en vingt-six tas. La fonderie a un fourneau de fusion identique à celui que nous avons décrit. La concession comprendrait trois mines de nickel et six de cuivre encore vierges.

La même Compagnie possède une autre mine à 40 *km* environ vers l'ouest (à 11 *km* de la station de White Fish sur le *Canadian*

Pacific), appelée « Worthington Mine ». C'est une masse de 10 *m* de hauteur et 15 *m* de diamètre, avec un puits de 8 *m* foncé au milieu, d'où l'on a extrait un minerai très riche en nickel ; mais les travaux faits sont trop peu importants pour permettre de juger la richesse du gite.

MM. Hussey, Vivian et C° de Swansea ont aussi acquis une propriété minière, la « Murray Mine », sur la ligne principale du *Canadian Pacific*, à 4 *km* au nord-ouest de Sudbury. Le chemin de fer coupe les gîtes, qui forment une colline de 25 *m* de hauteur qui suit la voie sur une distance de 50 *m* et s'étend perpendiculairement à la voie sur une longueur de 100 *m*. De l'autre côté de la voie, la saillie du minerai longe les rails sur 20 *m* de longueur, à une hauteur de 5 *m* et 30 *m* dans le sens perpendiculaire à la grande ligne. On a foncé un puits dans la colline à une profondeur de 20 *m* ; un petit broyeur concasse le minerai et le four de fusion, du modèle Swansea, peut fondre 40 *t* de minerai par jour ; on en construit un plus considérable : on a extrait 8 000 *t* de minerai, mais celui-ci n'a que 2 0/0 nickel et cuivre ajoutés ; la matte obtenue a 8 0/0 nickel et 4 0/0 cuivre ; on se disposerait à étendre l'exploitation.

Au nord de ce dépôt on en signale d'autres, peu étudiés encore, faisant partie du domaine de cette société.

On a d'ailleurs dressé le tableau suivant qui donne l'étendue de terrain possédée par les trois principales Sociétés en exploitation :

	Canadian Copper C°	Dominion C°	Vivian C°
Surface en ares possédée	13 000	480	320
Surface en ares demandée en extension de concession	.....	5 000	4 000
Total du minerai extrait jusqu'au 1er octobre 1891	105 000	45 000	8 000
Puissance du concassage mécanique en une journée	1 200	400	150
Puissance de production de la fonderie en mattes	72 *t*	14 *t*	5 *t*
Estimation en tonnes du minerai à la surface du sol en dépôts vus par les Commissaires du gouvernement des États-Unis.	650 000 000 *t*	2 500 000 *t*	240 000 *t*

En présence de ces dépôts de minerai de nickel qui semblent énormes, on s'est demandé tout d'abord si les emplois du nickel, qui est après tout un métal tout à fait moderne, suffiraient à absorber la production de ces nouvelles mines : c'est le problème que je me posais moi-même en 1875, lorsque je commençai mes études sur la métallurgie des minerais de nickel de la Nouvelle-Calédonie

que je savais si abondants puisque je les rencontrai émergeant un peu partout et principalement d'un rivage à l'autre dans la direction est-ouest, à la hauteur de Canala, formant comme une énorme masse filonienne de plusieurs kilomètres d'épaisseur nord-sud; à ce moment la consommation du nickel était insignifiante; les mines connues étaient d'ailleurs insuffisantes à fournir une demande un peu sérieuse et il avait suffi d'une commande de quelques milliers de kilos pour une petite affaire de monnaie pour faire hausser les prix du nickel outre mesure. Toutefois, ayant fondu tout d'abord au creuset brasqué avec un flux convenable, du minerai de la Nouvelle-Calédonie que j'avais rapporté, j'obtins un régule de nickel et de fer très carburé, mais s'applatissant sous le marteau, avant de se criquer, d'une façon surprenante. Très habitué à ce genre d'essai comme ancien Ingénieur chef de service des hauts fourneaux, pendant deux années, à la Compagnie des Aciéries de la marine, et des Chemins de fer (Vierzon et Givors), ce fait me frappa vivement; j'y vis aussitôt avec la plus évidente clarté le point de départ d'une énorme consommation de nickel à l'état d'alliage avec le fer sous toutes les formes que ce métal revêt dans l'industrie; mes brevets de 1876 témoignent, je pourrais dire de mon enthousiasme : sans parler de mon brevet français du 15 février 1876, qui est plus connu, je disais dans mon brevet anglais du 20 mars 1876, sous le titre : *Fabrication du ferro-nickel ou introduction du nickel à l'état d'alliage avec le fer dans la métallurgie du fer :*

« Plusieurs motifs ont déjà arrêté les métallurgistes dans la voie » d'employer des alliages de fer et de nickel; le principal est que » le nickel était trop rare et trop cher; en second lieu, les nickels » du commerce étaient toujours combinés avec du cuivre, du » soufre, de l'arsenic, etc. (1) qui, en présence du fer, comme on » le sait, rendent celui-ci cassant et, par suite, l'alliage qui serait » formé. Cela explique la divergence d'opinion et le peu d'expé- » riences qui ont été faites pour produire des alliages de nickel et » de fer destinés à l'industrie; mais, avec les *garniérites*, ces incon- » venients n'existent plus; l'abondance du minerai et sa pureté » éloigneront certainement les obstacles que j'ai signalés comme » s'opposant à la formation d'alliages de fer et de nickel. Aussi, » bien loin de faire un effort pour éliminer le fer des minerais de

(1) C'est surtout à Vivian, de Swansea, Wharton, de Pensylvanie, que l'on doit, avant 1876, d'avoir amélioré la nature des nickels, qui étaient si impurs auparavant, qu'on ne pouvait produire que des maillechorts à 12 0/0 de nickel ; j'en ai analysé qui n'avaient que 92 0/0 de nickel, le reste était du cuivre, du fer, du soufre et de l'arsenic.

» nickel, comme on a toujours fait jusqu'ici, je voudrais permettre » à celui-ci de rester dans les minerais et j'en ajouterais même » encore, comme je l'ai dit plus haut, afin de faciliter la fabrica- » tion des fontes.

» Je me réserve donc expressément l'emploi des fontes de fer, » du fer, des moulages de fer et de l'acier alliés d'une proportion » variable de nickel, *suivant les circonstances*. Le nickel que j'ajoute » augmente les qualités du fer, à la fois sous le rapport de la force, » de la malléabilité et de la capacité de résister à l'oxydation.

» Pour obtenir les alliages de fer et de nickel, il est suffisant (et » je réserve ce point), de combiner les carbures de nickel et de » fer en proportion convenable dans les diverses opérations ac- » tuelles de la transformation des fontes de fer en fer, fonte et » acier. Je réserve l'emploi de ces fontes de fer et de nickel pour » l'art du moulage; en ce qui concerne le fer, la fonte de fer et » l'acier avec nickel, que j'appelle *ferro-nickel*, on verra qu'ils sont » pleins d'applications et je réserve leur emploi pour la fabrication » des canons de fusil, canons de guerre, lames de couteau et de » sabre, etc.; chaînes pour la marine, câbles métalliques peu » oxydables pour mines de houille, clous pour le doublage des » navires, etc.

» Étant clairement compris que, dans les divers cas, ces pro- » portions de nickel dans le *ferro-nickel* varieront comme on le » voudra pour obtenir un degré plus ou moins élevé de ténacité, » malléabilité et résistance à l'oxydation.

» Par ces alliages de fer et de nickel, je crée, pour ainsi dire, » un métal supérieur ou au-dessus des meilleurs « produits sidé- » rurgiques »; un métal qui atteint le but que l'on cherche depuis » si longtemps de posséder à la fois un haut degré de ténacité, » avec une grande malléabilité et seulement une faible tendance » à l'oxydation (1).

(1) Manufacture of ferro-nickel or introduction of nickel in the state of alloy with iron into metallurgy of Iron.

Several reasons have hitherto stood in the way of employing alloys of iron and nickel; the principal is, that nickel was too rare and too dear; in the second place, nickels of Commerce were always combined with coper, sulphur, arsenic, etc... which in the presence of iron, as is known render the latter brittle and consequently the alloy which contains it. This explains the divergence of opinion and the few experiments which have been made to make alloys of nickel and iron for manufacturing purposes.-But with *Garniérite* the inconveniences no longer exist, the abundance of the ore and its purity will certainly remove the abstacles. I have pointed out to the production of alloys of iron and nickel. Thus so far from making an effort to eliminate the iron from the nickel ores, as has hitherto been done I would allowit to remain in those ores and I will even add more as I stated above in order to facilitate the manufacture of the carburets.

I therefore expressly reserve to myself the employment of carburets of iron, iron, cast iron, and steel allied with a variable proportion of nickel according to circunstances; the

Cet extrait de mes brevets montre tout le prix que j'attachais à un nouvel horizon de consommation du nickel : son introduction dans la métallurgie du fer. Mais la réalisation des conceptions mêmes basées sur des expériences décisives, demande toujours du temps et de l'argent : il me fallut débuter modestement dans la métallurgie du nickel, et mettre d'accord une bonne fabrication avec le manque d'appareils convenables, sans parler de bien d'autres difficultés. La Société fondée en 1876 sous la raison sociale J. Garnier, H. Marbeau aîné et Cie, qui, par des modifications successives, est devenue la Société actuelle « le Nickel », put exposer entre autres, en 1878 :

1° Des fontes de ferro-nickel à 70 0/0 de nickel, produites dans le haut fourneau que j'avais monté à Nouméa, à la pointe Chaleix, qui fut mis en feu le 10 décembre 1877. La première coulée contenait 61,50 0/0 de nickel. L'Ingénieur était M. Caulry ; M. Higginson, qui avait traité avec moi pour mes procédés de fabrication de ferro-nickel, le principal bailleur de fonds ;

2° Des alliages de fer et nickel, à divers titres, martelés au pilon, après affinage de la fonte susdite de ferro-nickel au foyer Comtois, sous mes soins et ma direction, dans les usines de MM. Reverchon et Saglio, à Audincourt (Doubs), en mai 1878.

3° Un bloc de 500 *kg* environ de nickel et fer, obtenu sur la sole du four Siemens que j'avais monté à Septèmes par l'affinage des fontes de ferro-nickel ; ce bloc était privé d'une partie de son carbone, du silicium et d'une partie de son fer.

Bien que ces produits eussent été assez remarqués du jury pour nous valoir une médaille d'or ; bien que nos ferro-nickel et acier-nickel fussent déjà portés sur nos prospectus commerciaux ; bien que nous fîmes diverses tentatives auprès des métallurgistes, les applications n'étaient venues que lentement. D'ailleurs, malgré

nickel which I add increases the qualities of the iron both in respect of its strength, malleability and capability of resisting oxydation.

To obtain alloys of iron and nickel it is sufficient (and I reserve this point) to combine the carburets of nickel and iron in proper proportion in the various actual operations of the transformation of carburets of iron, into iron, cast iron and steel.

I reserve the employment of these carburets of iron and nickel for art mouldings ; as regards the iron, cast iron and steel with nickel which I call *ferro nickels* they will prove useful and I reserve the employment thereof for the manufacture of gun barrels pièces of oronance, knive blades, sabre blades, etc., chains for naval purposes ; cables, little liable to oxydation for coal mines ; nails for schip building, etc.

It being clearly understood that in the various cases the proportions of nickel in the *ferro-nickel* will vary according as may be desired to attain a higher or lower degree of tenacity, malleability and freedom from oxydation.

By these alloys of iron and nickel I create so te speak a metal above or superior to the best " siderurgic products " a metal which attains the object so long sought after of possessing at the same time a high degree of tenacity with great malleability and but slight inclination to oxydation.

toutes mes affirmations, le doute existait et, au moment où je proclamais les avantages du nickel dans l'acier, un homme dont l'opinion faisait à juste titre grande autorité, l'illustre chimiste Boussingault, écrivait :

« Le nickel uni au carbone n'ayant pas la faculté de prendre de la dureté, de la résistance à la traction et de l'élasticité, *il n'y aurait aucun intérêt à l'unir à l'acier*, si ce n'est pour le rendre moins oxydable. » (1)

Comme Boussingault annonçait que ses essais avaient été faits avec le concours d'une de nos plus grandes aciéries, on ne manquait pas d'opposer à mes propositions le texte positif de ce savant. Mes essais personnels me montraient toutefois l'erreur de Boussingault, et lorsque, découragé, extrêmement las, en 1881, je quittai le Société « le Nickel », laissant au siège social une série de moulages de ferro-nickel, de barres laminées et estampées, ainsi que les notes indicatives des procédés suivis, la question du ferro-nickel était élucidée pour moi et sans doute ceux de mes associés qui avaient vu certains objets que j'avais moulés et martelés.

A partir de ce moment, mes brevets ne m'appartenant plus, je ne pus naturellement les utiliser pour mon propre compte, pendant que, d'autre part, la Société « le Nickel », qui en était propriétaire, les laissait dormir. Quant aux métallurgistes que j'ai engagés depuis à fabriquer des aciers au nickel, suivant mes anciens procédés, je ne leur cachai pas qu'il fallait d'abord s'entendre avec la Société « le Nickel », propriétaire de ces brevets ; c'était donc un cercle vicieux. Enfin, dans ces dernières années, certaines aciéries reprirent la question pour leur propre compte et firent triompher mes anciens dires. On peut ajouter, toutefois, que si l'industrie du fer s'était emparée plus tôt du nickel comme alliage, les mines de Nouvelle-Calédonie, toutes riches qu'elles sont, n'eussent pas suffi à alimenter le marché ; il fallait leur laisser le temps de développer leur outillage, de s'organiser ; mais, par contre, il faut se féliciter que la découverte et la mise en valeur des gîtes de Sudbury coïncide avec la mise en pratique sur un grand pied des aciers au nickel.

Aux États-Unis, j'eus l'honneur d'exposer, en septembre dernier, mes procédés de 1876 à la maison Carnegie, Phspps et C°,

(1) *Comptes rendus de l'Académie des Sciences.* — Séance du lundi 25 février 1878. — Dans cette note, M. Boussingault reconnaissait que le carbone n'altérait pas les propriétés du nickel ; c'est vrai, mais comme il amène une division des molécules du métal, il altère, par ce fait indirect, ses qualités.

de Pittsburgh ; ces messieurs, dont les usines sont colossales, puisque l'une seule d'entre elles, *Bessemer station*, produit annuellement 400 000 *t* de rails, firent peu de temps après, dans leurs aciéries de *Homestead*, à Pittsburgh, un essai d'acier au nickel, sur lequel M. W. L. Abbott adressa un rapport au ministre de la marine. C'était le premier essai de fabrication d'acier-nickel fait aux États-Unis, et il réussit très bien. On opéra dans un convertisseur Bessemer sur 5 *t* d'acier ; une partie des lingots fut laminée en tôles de 0,022 *m* d'épaisseur, où l'on découpa diverses barrettes d'essai. La limite élastique fut trouvée de 59 000 et 60 000 livres par pouce carré, et la charge de rupture de 100 000 et 102 000 livres ; l'allongement fut de 15 1/2 0/0, et la réduction de surface à la fracture fut respectivement de 29,5 0/0 et de 26,5 0/0. La proportion de nickel dans l'acier était de 3,16 0/0.

Ces essais furent continués depuis, et la maison Carnegie vient d'obtenir la commande de 6 000 *t* de plaques de blindage au nickel, dont ils comptent commencer la livraison avant le 1er juin prochain. Leur installation pour plaques de blindage est différente de celle de leurs concurrents, en ce sens qu'ils les lamineront dans un laminoir spécial d'un poids énorme et qu'ils n'attendent plus, pour marcher, que la livraison de grues puissantes pour manier les plaques, et d'une presse hydraulique pour donner aux plaques leur forme définitive.

La Compagnie de Bethléem, qui se prépare aussi à faire les plaques au nickel, ne sera prête que plus tard, ayant besoin de délais pour finir leur marteau-pilon de 125 *t*.

MÉMOIRE

SUR

LE RENDEMENT DIRECT ET ABSOLU

DE LA MACHINE A VAPEUR

PAR

M. D.-A. CASALONGA

EXPOSÉ

Je me suis proposé de vous entretenir de quelques-unes des questions principalement relatives à la machine à vapeur. Le thème en est vieux de plus de cent ans. Et, cependant, j'ai la prétention, que vous voudrez bien me pardonner, de vous présenter des aperçus nouveaux qui, tout en vous étonnant beaucoup, vous intéresseront peut-être un peu.

Les phénomènes qui s'accomplissent dans une machine à vapeur sont si complexes, si délicats, qu'il ne faut pas s'étonner que quelques-uns aient pu échapper, non seulement à l'esprit, pourtant si sagace, de Watt, mais encore à celui des nombreux savants ou ingénieurs-mécaniciens venus après lui, et qui avaient la science de la thermodynamique pour guide.

Parmi ces savants, un de ceux qui ont élevé à la machine à vapeur le monument théorique le plus important et le plus incontesté, est Clausius, qui l'a étudiée à la brillante lumière de la *Théorie mécanique de la chaleur*, ou *Thermodynamique*.

Ses beaux travaux procédaient de ceux qui, à la suite d'un axiome, dont l'évidence ne s'impose pas tout d'abord à la raison, l'avaient conduit à transformer ou compléter le second principe de thermodynamique, posé par Sadi Carnot en 1824, et à en tirer une expression, appelée *coefficient de réduction*, ou *coefficient économique*, du rendement de la chaleur, mise en œuvre dans une machine thermique, la machine à vapeur comprise.

Cette expression, d'une si haute importance, a été acceptée universellement depuis près de quarante ans ; elle est couramment enseignée, appliquée, non seulement dans la technologie, mais dans les écoles.

Cependant, elle a été déduite de considérations mal fondées : elle est inexacte ; son application conduit, pour les machines thermiques, généralement quelconques, et notamment pour la machine à vapeur, à des résultats fort erronés. C'est ce que je vais essayer de vous démontrer.

Je vais aussi appeler votre attention sur une particularité ignorée jusqu'ici : celle de la disparition d'une certaine quantite de chaleur de la chaudière à vapeur, quantité qui n'a jamais été comptée ni mesurée, et dont l'importance est cependant considérable au point de vue du rendement de la chaleur.

Enfin, je me propose, en vous faisant assister aux évolutions de la chaleur dans la chaudière et dans le cylindre, de vous montrer une vérification expérimentale de l'erreur que j'ai signalée à propos du *coefficient économique*, en même temps que je m'efforcerai de vous faire connaître quelle est la limite maximum du rendement théorique direct d'une machine à vapeur fonctionnant dans des conditions déterminées, et que je supposerai à condensation, à un seul cylindre, dépourvu d'enveloppe mais à parois impénétrables à la chaleur, afin d'éviter tout sujet de complication dans mon exposé, et aussi pour rester dans les conditions mêmes de la théorie de Clausius.

Les choses dont je vais vous entretenir, j'ai essayé d'en dire quelques mots ailleurs et ici. Vous avez pu lire, dans nos Bulletins mêmes, qu'elles ont été considérées comme *antidoctrinales ;* elles se sont attiré des réserves expresses, même des protestations. Aussi, en venant récidiver devant vous, je réclame toute votre bienveillante attention, mais point d'indulgence.

Si je me suis trompé, ma persévérance, autant que mon isolement dans une erreur invétérée, me rendront digne de tous les blâmes au-devant desquels j'irai délibérément en faisant largement amende honorable et donnant la plus grande satisfaction à ceux, vivants ou non, dont j'aurai pu me permettre de contester les résultats de leurs travaux.

DU COEFFICIENT ÉCONOMIQUE DU TRAVAIL DE LA CHALEUR

De l'inexactitude du rapport $\frac{T_o - T_1}{T_o}$.

J'ai ici à ouvrir une parenthèse et à vous soumettre préalablement quelques considérations relatives au zéro dit absolu, considérations que j'ai présentées à l'Académie des Sciences où, je dois en faire l'aveu, elles n'ont encore rencontré aucun appui ni créance.

En même temps, je discuterai, sans aucune idée de valeur numérique, l'expression purement mathématique $\frac{T_o - T_1}{T_o}$ qui sert de base à cette étude. (Cette notation est celle adoptée par Hirn. Clausius écrit tour à tour : $\frac{T_1 - T_o}{T_1}$ et $\frac{T_1 - T_2}{T_1}$: J. Bourget note : $\frac{T_2 - T_1}{T_2}$, et M. Bertrand : $\frac{T_1 - T_2}{T_1}$).

Le rendement physique d'une machine thermique a été estimé devoir être par Clausius :

$$F_e = \frac{T_o - T_1}{T_o} \cdot \frac{Q_o}{A} = \frac{T_o - T_1}{T_o} \cdot Q_o 425 \qquad (1)$$

Q_o, chaleur totale incorporée au corps. — $Q_o 425$, travail total correspondant.

$\frac{I}{A} = E = 425$ *kgmt.*

T_o, température maximum au-dessus du zéro dit absolu.

T_1, — minimum —

$T_o - T_1 = t_o - t_1$, différence existante entre T_o et T_o, ou entre les températures centigrades correspondantes t_o, t_1.

$$\frac{T_o - T_1}{T_o} = \frac{t_o - t}{273 + t_o}. \qquad (2)$$

Clausius est arrivé à la relation (1) en développant la proposition que Hirn, dans sa théorie mécanique de la chaleur, expose de la manière suivante :

« Étant donné : une différence de température ($t_o - t_1$) et une » quantité de chaleur disponible Q_o, employée exclusivement à » produire du travail externe et interne, la quantité de chaleur » Q_1 qu'il faut restituer pour obtenir un travail externe définitif

» F_e, se trouve, avec la quantité Q_0, dans un rapport constant qui » a pour expression :

$$\frac{Q_1}{Q_0} = \frac{T_1}{T_0}, \qquad (3)$$

» T_0 et T_1 n'étant autre chose que la température absolue répon- » dant à la dépense Q_0 et à la restitution Q_1.

» Ce rapport est universel et ne dépend, en aucune façon, de » la nature du corps auquel on fait subir l'action des tempéra- » tures. »

Voici le développement de la proposition :

Après avoir, d'après le principe de l'équivalence, écrit :

$$Q_0 - Q_1 = \frac{F_e}{425} = AF_e, \qquad (4)$$

le rapport (3) a été mis sous la forme :

$$1 - \frac{Q_1}{Q_0} = 1 - \frac{T_1}{T_0},$$

d'où :

$$\frac{Q_0 - Q_1}{Q_0} = \frac{T_0 - T_1}{T_0} = \frac{AF_e}{Q_0} \qquad (5)$$

Puis, donnant à la relation (4) les formes successives :

$$425\,(Q_0 - Q_1) = F_e \quad \text{et} \quad 425\left(\frac{Q_0 - Q_1}{Q_0}\right) = \frac{F_e}{Q_0} \qquad (6)$$

et étant donné que, précédemment, de

$$\frac{Q_1}{Q_0} = \frac{T_1}{T_0} \qquad (3)$$

était résultée l'équation (5)

$$\frac{Q_0 - Q_1}{Q_0} = \frac{T_0 - T_1}{T_0},$$

il a été obtenu, en remplaçant, dans l'égalité (6) :

$$\frac{Q_0 - Q_1}{Q_0} \text{ par } \frac{T_0 - T_1}{T_0},$$

la relation :

$$425\,\frac{T_0 - T_1}{T_0} = \frac{F_e}{Q_0}$$

et enfin :

$$425\,Q_0\,\frac{T_0 - T_1}{T_0} = F_e \qquad (1)$$

Il est visible que, dans ces développements algébriques, qui semblent irréprochables, il a été fait tout au début, dans l'énoncé du théorème, puis conséquemment par la suite, une confusion entre deux quantités de chaleur de même espèce, mais de valeurs bien différentes.

Les quantités de chaleur Q_o et Q_1, dont le rapport est bien égal au rapport $\frac{T_o}{T_1}$, ne sont pas de même valeur que les quantités de chaleur auxquelles on a donné la même notation Q_o et Q_1, et dont la différence $Q_o - Q_1$ correspond à $\frac{F_e}{425}$.

Si on veut se reporter à l'énoncé, on voit que l'on dit que Q_o et Q_1 sont dans un rapport *constant* qui a pour expression $\frac{T_1}{T_o}$.

Or, T_1 et T_o, représentant deux températures successives d'un même corps, ne peuvent être proportionnelles qu'à des quantités totales de chaleur contenues successivement dans ce corps, considéré à l'état statique.

On a bien alors $\frac{Q_o}{Q_2} = \frac{T_o}{T_1}$, mais l'on aurait aussi bien $\frac{Q_o}{Q_2} = \frac{T_o}{T_2}$, et ainsi de suite. Il n'y a donc pas là un rapport constant.

Au contraire, lorsqu'il s'agit d'une quantité totale de chaleur Q_o incorporée dans un corps variable, et qu'il faut restituer, par la variation de ce corps, une quantité de chaleur Q_1, les quantités Q_o, Q_1 sont alors vraiment dans un rapport *constant;* seulement ce rapport n'est pas exprimé par $\frac{T_1}{T_o}$, mais par $\frac{c}{c'}$, c et c' étant les capacités calorifiques du corps.

DE L'INEXACTITUDE INHÉRENTE A LA NOTION ET A LA VALEUR DU ZÉRO DIT ABSOLU

Il y a, dans l'expression $\frac{T_o - T_1}{T_o}$ une autre cause d'erreur, celle-là numérique, et provenant de la valeur assignée au zéro dit absolu, placé à — 273°, au-dessous du zéro centigrade.

La notion que l'on a du zéro absolu, qu'il correspond à une privation absolue de chaleur du corps, est fausse. Un corps, conservant sa masse et son mouvement, est susceptible de toujours transformer une partie de sa puissance vive en chaleur.

De plus la limite — 273° n'est pas absolue mais variable.

Cette limite a été déterminée en admettant que, par la perte de un degré de sa température, l'air perdait $\frac{1}{273}$ de sa pression. Mais, dans ces conditions, l'air est considéré à l'état statique, et son volume reste invariable.

Pour que l'air varie de volume de $\frac{1}{273}$ par degré, il faut que sa température augmente de un degré et qu'on lui ait fourni 0,2377 *cal.*, dont 0,0691 ont disparu.

Lorsque l'on veut prendre à l'air, en le détendant adiabatiquement, une quantité de chaleur qui abaisse sa température de un degré, alors sa pression s'abaisse, non plus de $\frac{1}{273}$ mais de $\frac{1}{116}$ à $\frac{1}{112}$.

Or, lorsque l'on considère une machine thermique, on est presque toujours dans le système de détente adiabatique. Dans ce cas la limite assignée au zéro absolu serait — 112° ou — 116° au-dessous du zéro centigrade.

On conçoit, du reste, que, dans un gaz parfait, pour une température donnée, la quantité de chaleur actuelle peut varier, soit que la chaleur rayonne à volume constant, soit que le corps se dilate adiabatiquement, soit que les deux modes s'effectuent ensemble chacun pour une part.

Il y aurait même un autre mode de variation à considérer : celui de la détente *isothermique*, dont un exemple des plus classiques est fourni par le Cycle même de Carnot, figuré par Clapeyron.

L'expression générale $\frac{T}{T_o} = \frac{pv}{p_o v_o}$, qui relie entre elles les lois de Mariotte et de Gay-Lussac, peut se généraliser ainsi :

$$\frac{T}{T_o} = \frac{pv}{pv_o} = \frac{pv}{p_o v} = \frac{pv}{p_o v_o} = \frac{1+\alpha t}{1+\alpha t_o},$$

et cela pour des valeurs différentes de Q_o quantité de chaleur appliquée à chacun des modes d'évolutions que je viens d'indiquer.

On voit que la règle des chutes de température est pleine de dangers et d'incertitudes ; et que c'est par la quantité de chaleur transformée qu'il faut toujours déterminer le travail.

VÉRIFICATION FONDÉE SUR LES EXPÉRIENCES DE REGNAULT

La démonstration qui précède a été impuissante, ici comme ailleurs, à donner confiance en ma thèse à mettre en lumière et faire saisir l'erreur signalée.

Comment admettre, en effet, qu'une expression algébrique si simple, déduite de calculs analytiques savamment développés par un professeur de premier ordre, est vraiment erronée? Comment admettre cela surtout lorsque, vérifiée par Hirn, d'après deux méthodes, l'une physique, l'autre mécanique, cette expression a été trouvée par lui aussi vraie, aussi sûre, que n'importe laquelle des lois naturelles les mieux établies? Comment encore pouvoir l'admettre après que tant de savants illustres, tant en France qu'à l'étranger, l'ont adoptée, enseignée, et qu'un de nos plus grands mathématiciens contemporains, le plus grand peut-être, dans un remarquable ouvrage consacré à la thermodynamique, a proclamé que la théorie de Clausius *n'avait jamais été mise en défaut.*

Et cependant!... *l'erreur existe.*

En vain, pour la faire au moins sentir, j'invoquai le cycle même de Carnot, dont la première partie, terminée par une isothermique, montre avec évidence un travail effectué sans variation de température, c'est-à-dire, avec un coefficient $\frac{T_o - T_1}{T_o} = 0$.

Efforts inutiles!

Je cherchai alors une vérification expérimentale de la théorie de Clausius. Et ne pouvant pas, par moi-même, me livrer, comme on le pense bien, à de tels essais, j'eus l'idée de recourir aux si belles expériences, restées si célèbres et si complètement incontestées, de Regnault.

Je m'attachai donc à mettre en regard des résultats obtenus par la méthode du savant professeur de Bonn ceux qui peuvent se déduire desdites expériences de Regnault.

C'est en faisant cette vérification que, guidé par les principes vrais, je crois, de la thermodynamique, j'ai trouvé qu'une perte de chaleur était faite par la chaudière pendant l'admission au cylindre; en même temps que, en suivant la manière dont la chaleur évoluait dans la vapeur pendant la détente, j'ai pu vérifier son mode naturel de répartition en travail interne et en travail externe correspondants.

MÉTHODE DE DÉTERMINATION DU TRAVAIL DIRECT D'UNE MACHINE SIMPLE A CONDENSATION

Cas de la basse pression.

En appliquant son rapport $\frac{T_o - T_1}{T_o}$ à la détermination du rendement de la chaleur contenue dans la vapeur d'eau aux pressions :

basse, moyenne, haute,

de 1,42, 4,71, 9,93 atmosphères,

correspondant aux températures de

110, 150, 180°,

Clausius a déduit, pour ce rendement, les valeurs 0,149, 0,217, 0,258, en supposant la température T_1 d'échappement au condenseur égale à $273 + 50 = 323°$ ou $t_1 = 50°$.

On voit que le rendement d'une machine à vapeur augmente, d'après ce rapport, avec la pression initiale et, par suite, avec la chute de température que produit la détente ; c'est ce qui a confirmé Clausius, et tous ceux qui sont venus après lui, que son rapport était exact.

Mais, outre que ce rapport perd de sa généralité vis-à-vis des gaz permanents, où le rendement considéré est une constante, il faut encore remarquer, et c'est ce qui va être démontré, que, dans la machine à vapeur, la variation du rendement suit une loi bien différente de celle indiquée par Clausius.

En effet, dans 1 *kg* de vapeur à la basse pression de 1,43 atmosphères et à la température $T_o = 383°$, $t = 110°$, on a, d'après Regnault :

$$606 + 0{,}305 \times 110 = 640 \text{ } \textit{calories} \text{ de chaleur } \textit{totale}$$

dans laquelle la chaleur dite latente est de 529,4 *calories*.

Tenant compte des deux phénomènes signalés : *perte de chaleur de la chaudière*, et *variation de la chaleur latente pendant la détente ;* tenant compte aussi d'une contrepression P′ de $\frac{1}{8}$ d'atmosphère au condenseur, ou 0,12 atmosphères, l'admission, dans un cylindre, de 1 *kg* de vapeur de volume V à la pression P, produira un premier travail de pleine pression :

$$T = (P - P') \times V.$$

Soit, dans l'exemple considéré :

$$(1{,}43 - 0{,}12) \times 10\,383 \times 1{,}23 = 16\,950 \textit{ kgmt.}$$

Ce travail correspond à une quantité de chaleur égale à $\frac{16\,950}{425} = 39{,}88$ *calories*.

Ces 39,88 *cal.*, qui représentent sensiblement 6,5 0/0 des calories totales incorporées, disparaissent de la chaudière pendant que s'effectue le travail de pleine pression ; mais elles sont, au fur et à mesure, remplacées presque aussitôt par le foyer ; de sorte que la variation de la pression de régime, laquelle est liée d'ailleurs au degré de détente, est très faible.

On peut donc admettre que la vapeur travaille dans des conditions analogues à celles indiquées par le cycle de Carnot, moins la variation de la pression. En effet, il n'y a pas de variation sensible de température pendant la pleine admission ; le travail, d'après la loi Carnot-Clausius, *devrait donc être nul ;* et il est plus que le double du travail de détente.

Ainsi, pour effectuer le travail de pleine pression il a été incorporé à la vapeur $640 + 39{,}88 = 679{,}88$ *cal.*, dont $39{,}88 = \frac{16\,950}{425}$ ont seulement été transformées, ce qui donne un rendement de

$$\frac{39{,}88}{679{,}88} = 0{,}0587.$$

TRAVAIL DE DÉTENTE

Il faut maintenant déterminer le travail de détente du kilogramme de vapeur à 1,43 *at.* à la température de 110°, se détendant jusqu'à n'avoir plus que la température de 50°.

Au lieu de déterminer directement ce travail par un diagramme à courbe inférieure *adiabatique* comme cela a lieu dans le cycle de Carnot, ou bien par le calcul, je le détermine encore par les règles simples de la thermodynamique, en déduisant des 640 calories de chaleur totale que contient le kilogramme de vapeur au commencement de la détente, les 621,7 calories qu'il contient encore à la température de 50°. Il n'a donc pu se transformer en travail de détente, que $640 - 621{,}7 = 18{,}3$ calories ; soit un rendement de $\frac{18{,}3}{640} = 0{,}0286$.

Le rendement maximum théorique et direct de la chaleur totale contenue dans le corps variable est donc :

$$0{,}0573 + 0{,}0286 = 0{,}0859,$$

au lieu de celui 0,1490 déterminé par le rapport $\frac{T_o - T_1}{T_o}$ de Clausius.

A la vérité, il y a lieu d'augmenter ces rapports d'environ 10 0/0 pour tenir compte de cette circonstance : que l'alimentation n'est pas faite à zéro, mais pourrait l'être à la température $t_1 = 50°$ du condenseur. Clausius, cependant, ne tient pas compte de cette circonstance. Il ne considère, en effet, que la quantité de chaleur *contenue* dans le corps variable depuis le zéro dit absolu et ne tient compte exclusivement que de la différence des températures. Faisons cependant bonne mesure en faveur du rapport dont nous contestons l'exactitude et tenons compte des 50 calories reprises par l'alimentation. Nous aurons alors un rendement industriel réel de la *vapeur produite* et non plus un rendement de la *chaleur existante* dans cette vapeur.

Dans ces conditions, et dans le cas de la basse pression, les rapports précédents se trouveront augmentés ; ils seront respectivement : $\left.\begin{array}{l}\frac{39,88}{628,88} = 0,0618 \\ \frac{1,83}{590,0} = 0,0315\end{array}\right\}$ 0,0933, au lieu de 0,0859 et au lieu de 0,149, valeur du rapport de Clausius.

On voit déjà que le rendement de la chaleur déterminé par Clausius est près de un tiers plus élevé que celui qui résulte de l'application des calories incorporées à la vapeur et qui ne sont pas asservies à la loi immuable de la chaleur latente.

CAS DES MOYENNES PRESSIONS

Si on considère de la vapeur à 4,71 *at.* et à 150° dans laquelle la chaleur latente entre pour 500,7 calories le travail $\Theta p = (P - P')\,V$ sera de $(4,71 - 0,12) \times 10\,333 \times 0,409 = 19\,439$ *kgm*, soit : $\frac{19\,439}{425} = 45,7$ calories transformées, ou un rendement de : $\frac{45,7}{652,2 + 45,7} = \frac{45,7}{698} = 0,0654$. Ou mieux, en tenant compte des 50 calories versées par l'alimentation :

$$\frac{45,7}{698 - 50} = \frac{45,7}{648} = 0,0705.$$

Le travail Θd de détente étant celui qui correspond à la trans-

formation de 652,2 — 621,7 = 30,5 calories, le rendement de la détente est :

$$\frac{30,5}{652,2} = 0,0467$$

ou, en tenant compte des 50 calories :

$$\frac{30.5}{602,2} = 0,0506$$

et le rendement total maximum est : 0,1211 au lieu de 0,217, valeur tirée du rapport de Clausius. L'écart, on le voit, est encore plus grand que dans l'exemple précédent.

CAS DES HAUTES PRESSIONS

Dans le cas d'une vapeur à 9,93 atmosphères et à 180° de tem pérature on a :

$$PV = (9,93 - 0,12) \times 10\,330 \times 0,208 = 21\,084 \; kgm,$$

correspondant à $\frac{21\,084}{425} = 49,68$ calories transformées ; soit un premier rendement de :

$$\frac{49.68}{661,4 + 49,68} = 0,0698;$$

ou mieux :

$$\frac{49,68}{711,08 - 50} = \frac{49,68}{661,08} = 0,0751.$$

La détente transformant 661,4 — 621,7 = 39,7 calories, on a un deuxième rendement de :

$$\frac{39,7}{661,4} = 0,0600,$$

ou mieux :

$$\frac{39,7}{611,4} = 0,0649,$$

soit un rendement total maximum de 0,1400, au lieu de celui de 0,2587 déterminé par Clausius.

L'écart, entre la courbe qui représenterait la loi du rapport de Clausius et celle qui représenterait la loi du rapport que j'ai tiré des expériences de Regnault, tend donc, depuis 1,43 jusqu'à 4,71 atmosphères et plus, à augmenter à mesure que la pression de la vapeur augmente elle-même.

CAS DES TRÈS HAUTES PRESSIONS

Si on poursuit, dans les très hautes pressions, la recherche du rendement de la vapeur, on verra que l'augmentation du rendement est faible.

A 12 atmosphères on a d'abord :

$$PV = (12 - 0{,}12)\ 10333 \times 0{,}175 = 21\,482{,}3\ kgm$$

soit : $\dfrac{21\,482{,}3}{425} = 50{,}53$ *calories*,

transformées pour le travail à pleine pression.

Et : $\dfrac{50{,}53}{664 + 50{,}53 - 50} = 0{,}0760$

Puis : $664 - 621{,}7 = 42{,}43$

et $\dfrac{42{,}43}{664 - 50} = 0{,}0691$

$\Big\}$ 0,1451,

soit un rendement total de 0,1451 à peine supérieur à celui de la vapeur à 9,93 atmosphères.

A 14 atmosphères (195,53° ; V = 0,1325), les deux rendements sont, respectivement :

1° $(14 - 0{,}12)\ 10\,333 \times 0{,}1325 = 21\,875{,}85\ kgm$,

$\dfrac{21\,875{,}85}{425} = 51{,}46$ calories, $\dfrac{51{,}46}{666 + 51{,}46 - 50} = 0{,}0771$

2° $666 - 621{,}7 = 44{,}3$,

$\dfrac{44{,}3}{666 - 50} = 0{,}0719$

0,0719

$\Big\}$ 0,1490,

soit un rendement total de 0,1490, différant très peu du précédent.

A 16 atmosphères (201,90° ; V = 0,13528), les deux rendements sont :

$$0{,}0779 + 0{,}0751 = 0{,}1530$$

Et à 18 atmosphères (210° ; V = 0,11679) :

$$0{,}0789 + 0{,}0786 = 0{,}1575.$$

Des indications qui précèdent, jointes à celles que fournit la pratique, et en tenant compte du rendement de la chaudière, on voit qu'il y a peu d'avantages à marcher à de très hautes pressions et à dépasser celle de 10 atmosphères au point de vue du rendement.

En même temps elles prouvent surabondamment que le rapport $\frac{T_o - T_1}{T_o}$ est bien véritablement inexact, et que l'on ne peut pas y appuyer une théorie de la machine à vapeur.

ESTIMATION DES CALORIES DÉVELOPPÉES SUR LA GRILLE

Si nous voulons maintenant nous rendre compte des calories qu'il faut développer sur la grille, ou incorporer à la vapeur, pour effectuer un cheval-heure indiqué de $75 \times 3\,600 = 270\,000$ *kgm*, exigeant la transformation de $\frac{270\,000}{425} = 635$ cal., cela est aisé, si l'on est fixé sur le rendement de la chaudière.

En effet : 1 *kg* de vapeur à la pression de 1,43 atmosph. reçoit : $640 + 38{,}88 = 678{,}88$ cal. depuis zéro.

Avec de l'eau d'alimentation à 50° : $678{,}88 - 50 = 628{,}88$, dont $38{,}88 + 18{,}3 = 57{,}18$ seulement sont transformées en travail utile.

Pour transformer les 635 calories nécessaires il faut donc : $\frac{635}{57{,}18} = 11{,}10$ *kg* de vapeur, ayant reçu $628{,}88 \times 11{,}10 = 6\,980{,}56$ calories.

Admettant pour le rendement de la chaudière, non plus 57 0/0 comme l'admet Zeuner; ou 60 0/0 comme l'admet M. Hirsch, mais 70 0/0 : on aura, pour la quantité de chaleur développée sur la grille $\frac{6\,980{,}56}{0{,}7} = 9\,972{,}2$.

Dans ce cas il faudrait donc compter sur bien *plus* de *1 kg* du meilleur charbon, *au minimum minimorum*.

Si l'on raisonne sur de la vapeur à 4,71 atmosph. (150°), on a :

Incorporation et transformation de chaleur pendant la période de pleine pression	45,7
Transformation pendant la détente	30,5
Nombre total de calories transformées.	76,2

Pour transformer les 635 cal. il faudra donc $\frac{635}{76{,}2} = 8{,}33$ *kg* de vapeur ayant reçu chacun $652{,}2 + 45{,}7 - 50 = 647{,}9$ *cal.* ; soit $647{,}9 \times 8{,}33 = 5\,393{,}0$ *cal.* ou $\frac{5\,393{,}0}{0{,}70} = 7\,700$ cal. développées sur la grille.

C'est-à-dire qu'avec du charbon développant 9 500 *cal.*, par *kg.* — ce qui n'est pas ordinaire — il faudrait compter sur une consommation supérieure au moins à $\frac{7\,700}{9\,500} = 0{,}810$ *kg*, en ne tenant compte d'aucune perte, d'aucune imperfection.

DE L'ÉVOLUTION DE LA CHALEUR PENDANT LA DÉTENTE

Enveloppe. — Réservoir. — Détendeurs.

La méthode de détermination du rendement maximum direct de la machine à vapeur étant exposée, la tâche que je me suis imposée se trouve accomplie.

Je désire toutefois vous dire encore quelques mots au sujet des phénomènes de l'évolution de la chaleur pendant la détente, et, en même temps, vous faire cette remarque importante : que cette étude, afin qu'elle reste aussi claire et aussi saisissable que possible, en même temps que conforme aux conditions dans lesquelles s'est placé Clausius, a été faite en dehors de toute considération relative, soit à l'enveloppe, soit au réservoir intermédiaire.

J'ai déjà, au sujet de l'*enveloppe*, exprimé quelque part cette opinion, qui s'est affermie encore dans mon esprit, que la théorie de cet organe important pouvait se résumer dans ces trois mots: *chauffage à outrance.*

En ce qui concerne le *réservoir intermédiaire*, j'ai aussi montré qu'il tirait ses avantages de sa double fonction comme enveloppe, et comme chaudière à basse pression, offrant, à la détente ultérieure, un réservoir calorifique important. C'est à ces causes, auxquelles se joint celle de la diminution de puissance vive de la vapeur affluente, qu'il faut réellement attribuer la supériorité des machines de Roentgen dites compound, et non pas, au moins d'une manière tant soit peu importante, à aucune autre cause, surtout à celle que l'on a pensé pouvoir tirer de l'application du prétendu principe de la chute des températures.

Peut-être la Société aura-t-elle bientôt l'occasion de revenir sur la question qui embrasse ces trois causes et aussi sur celle relative aux détendeurs de vapeur; car, à l'encontre de l'opinion, quelquefois exprimée, que la vapeur pourrait être surchauffée ou même seulement séchée complètement par détente sans travail, ou par étranglement, les principes qui ont servi de base aux considérations qui viennent d'être exposées montrent que, dans le

cas de hautes pressions, des chutes de 4 à 5 *kg* donnent lieu à une évaporation qui atteint à peine 4 à 5 0/0 du poids de l'eau entraînée.

Voyons, en attendant, suivant quelle loi évolue la chaleur pendant la détente.

Pour bien mettre en évidence cette loi, je vais supposer une machine à échappement libre dont les parois du cylindre sont toujours impénétrables pour la chaleur.

Ne tenant aucun compte ni de la température du réfrigérant ou réservoir commun, ni de la différence de température existante entre la vapeur admise et celle qui est versée dans l'atmosphère, remarquons que, dans 1 *kg* de vapeur à 1 atmosphère, il y a 637 calories de chaleur *totale* et 536.5 de chaleur *latente*.

Cela posé, supposons qu'il est admis successivement, et qu'il se détend, dans le cylindre, 1 *kg* de vapeur aux pressions de 2, 3, 4... 15 atmosphères, et déterminons, dans chaque cas, quel est le nombre des calories transformées en travail externe de détente et quelles sont les calories qui se sont transformées en travail interne.

On obtient ainsi le tableau de résultats ci-après :

ÉVOLUTION DE LA CHALEUR TOTALE DE LA VAPEUR PENDANT LA DÉTENTE

A 1 atmosphère. .	$L = 637.00$. .	$l = 536.5$	
A 2 — . .	$L = 643.20$. .	$l = 522.2$	
Différences. . .	6.20	14.3	$\frac{14.3}{6.2} = 2.31$
A 1 atmosphère. .	$L = 637.00$. .	$l = 536.5$	
A 3 — . .	$L = 649.1$ . .	$l = 508.1$	
Différences. . .	12.1	28.4	$\frac{28.4}{12.1} = 2.34$
. . . . .			
. . . . .			
. . . . .			
A 1 atmosphère. .	$L = 637.00$. .	$l = 536.5$	
A 9,92 — . .	$L = 661.40$. .	$l = 479.0$	
Différences. . .	24.40	57.5	$\frac{57.5}{24.4} = 2.39$
. . . . .			
. . . . .			
A 1 atmosphère .	$L = 637.00$. .	$l = 536.5$	
A 15,38 — .	$L = 667.50$. .	$l = 464.3$	
Différences. . .	30.50	72.2	$\frac{72.2}{30.50} = 2.367$

Ce tableau, facile à compléter, met en évidence ce fait très intéressant, et qui est une confirmation de l'exactitude de la méthode, que le rapport entre les calories du travail *externe* et celles du travail *interne* est une constante, et que cette constante est celle-là même qui résulte du rapport tiré des capacités calorifiques des gaz permanents.

Ce rapport constant, outre qu'il permet de faire un départ exact de toutes les calories incorporées à la vapeur, offre encore l'avantage, en plaçant une loi à côté des résultats d'expériences, de corriger, ainsi qu'a entrepris de le faire M. le professeur Mac Farlane Gray, lorsqu'il a voulu rationaliser les expériences de Regnault, les petites erreurs dont ces résultats pourraient être entachés. Dans ce cas, comme dans celui de la corrélation existante entre les pressions et les volumes d'une vapeur saturée, l'hyperbole équilatère, établie sur deux résultats certains, semble devoir être d'un grand secours.

Ainsi on voit que le rapport, que j'ai cependant appelé *constant*, varie entre les valeurs 2,29 et 2,39, avec une valeur moyenne égale à 2,352, alors que le rapport correspondant tiré des capacités calorifiques de l'air $\frac{c}{c - c_1}$ est 2,43.

La différence est faible; mais il y aurait intérêt à mettre ces résultats exactement d'accord entre eux, comme ils doivent l'être nécessairement.

En supposant, non sans beaucoup de raisons, que les capacités calorifiques de l'air ont été plus exactement déterminées que celles correspondantes de la vapeur, 0,475 et 0,305, c'est à celles-ci qu'il faudrait apporter une légère correction, en diminuant l'une ou l'autre de manière que la valeur du rapport $\frac{c}{c - c}$ soit égale à 2,43 ou 2,44.

Pour cela il faudrait, dans la formule de Regnault :

$$L = 606.5 + 0{,}305\ t,$$

en supposant exacte la valeur d'origine 606,5 de la chaleur latente à zéro, que le terme 0,305 fût ramené à 0,290.

Mais je ne veux pas insister sur ce point ni trop y détourner votre attention que j'ai voulu surtout retenir sur ces autres points importants, savoir :

Mise en défaut du rapport $\frac{T_o - T_1}{T_o}$ de Clausius, et conséquemment de la théorie classique de la machine à vapeur.

Méthode de détermination, d'après les principes vrais de la thermodynamique, du maximum théorique du rendement mécanique direct ou absolu d'une machine à vapeur à condensation, marchant avec de la vapeur saturée à diverses pressions, quel que soit son degré de détente, ou plutôt au degré maximum de détente admis par Clausius.

Mise en évidence, et mesure, de la quantité de chaleur disparue de la chaudière pendant le travail de pleine pression de la vapeur, quantité de chaleur ayant échappé jusqu'ici à l'observation des expérimentateurs et variant de 6,5 à 7,5 0/0 de la chaleur totale incorporée à la vapeur.

Détermination de la loi suivant laquelle évoluent, pendant la détente, les calories incorporées à la vapeur, les unes disparaissant utilement en travail *externe*, les autres passant dans la chaleur latente, dont elles augmentent les calories pour suppléer au tra vail interne.

Ces quelques considérations sont extraites d'un certain nombre de celles que j'ai déjà exposées, il y a un an environ, dans le Mémoire pour le concours Giffard, que j'avais préparé dans des conditions assez difficiles et adressé à la Société.

Vous savez quel fut le jugement émis par les douze excellents collègues, choisis parmi les plus compétents, jugement sanctionné par le Comité d'alors. Je m'y suis soumis comme il convenait; mais, dans le fond de ma conviction enracinée, persuadé que je n'avais été ni cru ni compris, je ne l'ai pas accepté; et je vis avec l'espoir qu'un jour il sera réformé en appel par ceux-là mêmes qui l'ont rendu.

L'INDUSTRIE DES CABLES SOUS-MARINS

PAR

M. E. VLASTO

Il y a moins d'un an, un seul pays, l'Angleterre, possédait une industrie ayant déjà fourni pour un milliard de francs de produits; cette industrie est libre, prospère, grandissante ; elle répond à un besoin général, inéluctable, de la civilisation moderne : c'est l'industrie des câbles sous-marins.

On ne comprendrait pas qu'il ne se soit pas dressé depuis longtemps, dans d'autres pays, une concurrence active, si l'on ne savait pas que les câbles sous-marins ne sont pas seulement composés de fils de cuivre, de gutta-percha, de filin, de fils de fer et d'asphalte, toutes matières dont le prix est partout identique, si l'on ne savait pas qu'une usine à câbles exige un capital considérable, non seulement en outillage immobilisé, mais en matières premières d'achat délicat, de conservation difficile. Nul n'ignore non plus les responsabilités, se chiffrant par millions, qu'entraîne une fausse manœuvre, un défaut de surveillance, l'absence d'une direction énergique, toujours en action, pour faire converger vers un but unique — et qui paraît d'autant plus facile à atteindre que l'on est plus ignorant des difficultés techniques — les efforts d'un personnel difficile à recruter, travaillant isolément et ne comprenant pas plus le résultat et les responsabilités finales qu'un soldat ne comprend le plan de campagne de son général en chef. Cependant on est amené à rechercher les motifs de l'inaction de pays comme les États-Unis ou la France, pour ne citer que ceux qui paraissent le mieux outillés et le mieux placés pour une pareille industrie.

I

Historique. — Et d'abord un court historique.

Les premiers câbles sous-marins ont été fabriqués et posés vers 1851, après des essais nombreux, coûteux et souvent infructueux.

Comme dans toute application nouvelle, des précurseurs ont été vite découverts, et la période préhistorique remonte au professeur russe Sœmmering qui, en 1807 à Saint-Pétersbourg, et en 1815 à Paris, posa un premier fil conducteur immergé sous l'eau. Les noms, tous anglais, de O'Shaughnessy (1839), Ch. Wheatstone (1837), Ezra Cornell (1845), Werner Siemens (1848), Walker (1849), J.-W. Brett, Crampton (1851), pour ne citer que les principaux, sont attachés à l'époque héroïque où l'on comptait plus de vaincus que de victorieux.

En 1845, l'introduction de la gutta-percha en Europe et les essais qu'on en fit donnèrent un encouragement nouveau aux Ingénieurs et surtout aux capitaux. Après les succès, ou l'expérience acquise, des câbles de la Manche (1851), de la mer du Nord (1853), de la Méditerranée (1855), on aborda les grandes lignes à travers l'Atlantique (1857). En 1858 fut posé le premier câble transatlantique, qui n'eut pour durée que le temps d'échanger les télégrammes de félicitations entre la reine Victoria et le Président des États-Unis. Ainsi fut démontrée la possibilité de l'entreprise déclarée jusqu'alors irréalisable. Cependant, comme en décommandant par ce même câble le départ de deux régiments sur le point de s'embarquer au Canada, on avait réalisé une économie de 2 millions de francs, les avantages incalculables d'une pareille communication transatlantique avaient frappé vivement l'opinion publique du monde entier.

Dès ce moment des hommes, toujours Anglais, comme Newall, Galton, Wheatstone, Latimer Clark, sir W. Thompson, Elliot, Miller, Matthiessen, F. Jenkin, Ch. Bright, Maxwell, W. Siemens, Balfour Stewart, C. F. Varley, Foster, Forbes, Ch. Hockin, Joule, s'attachèrent à l'étude de la partie électrique et théorique des problèmes nouvellement posés. Ce fut l'œuvre de vingt années. C'est seulement en 1869 et même en 1881, à Paris, que la Commission nommée à Londres en 1861, à l'effet d'étudier un système rationnel d'unités électriques, put donner à ses conclusions une sanction internationale.

Pendant que les savants travaillaient, les industriels ne perdaient pas leur temps. Les câbles de la Méditerranée (1860), du golfe Persique (1863), de l'Atlantique (1865 et 1866) étaient posés avec succès, ces derniers grâce à la ténacité et à l'intelligente audace de Canning. Le succès de ces deux premiers câbles transatlantiques fit sortir la télégraphie sous-marine de la période d'essai. Depuis ce moment, les mers se sillonnent de câbles, et ce

n'est plus de l'histoire qu'il nous faut faire, mais de la statistique.

Pourquoi, dans cette période laborieuse de 1851 à 1869, ne trouvons-nous à l'œuvre que l'Angleterre? Parmi les pays de grande industrie, la France et les Etats-Unis pouvaient surtout concourir à la lutte. Les États-Unis avaient à l'ouest un champ de travail auquel leur activité suffisait à peine ; ils se préparaient d'ailleurs à se libérer de l'esclavage, on sait par quels douloureux déchirements. La France avait dans la même période des savants illustres : nous cherchons en vain leurs noms dans ce mouvement qui assura le monopole aux Anglais dans le domaine des câbles sous-marins.

Pourquoi, de 1848 à 1870, la France s'abstient-elle? On peut en chercher les raisons diverses, mais cela nous conduirait trop loin et ne rentre pas dans le cadre de cette étude.

Depuis 1870 la lutte même ne nous fut plus permise. Il s'agissait de reconstituer au plus vite tous nos moyens de défense : loin de faire concurrence aux Anglais, nous devenions leurs meilleurs clients.

II

Statistique. — Grâce aux chiffres officiels que nous fournit le Bureau international des administrations télégraphiques de Berne, nous pouvons étudier la production annuelle des câbles sous-marins depuis 1851 jusqu'en 1889 (octobre). Nous mettons ci-dessous un tableau (tableau A) indiquant les longueurs de câbles annuellement posés, soit pour le compte des États, soit pour le compte de Compagnies particulières.

Dans cette période de 1851 à 1889 les États ont posé 13 178 milles marins (de 1 852 *m* au mille) et les Compagnies 107 646 milles marins. L'ensemble du réseau télégraphique sous-marin s'élevait donc à une longueur de 120 725 milles marins qui représentent une valeur totale de près de 1 milliard de francs.

Tableau A

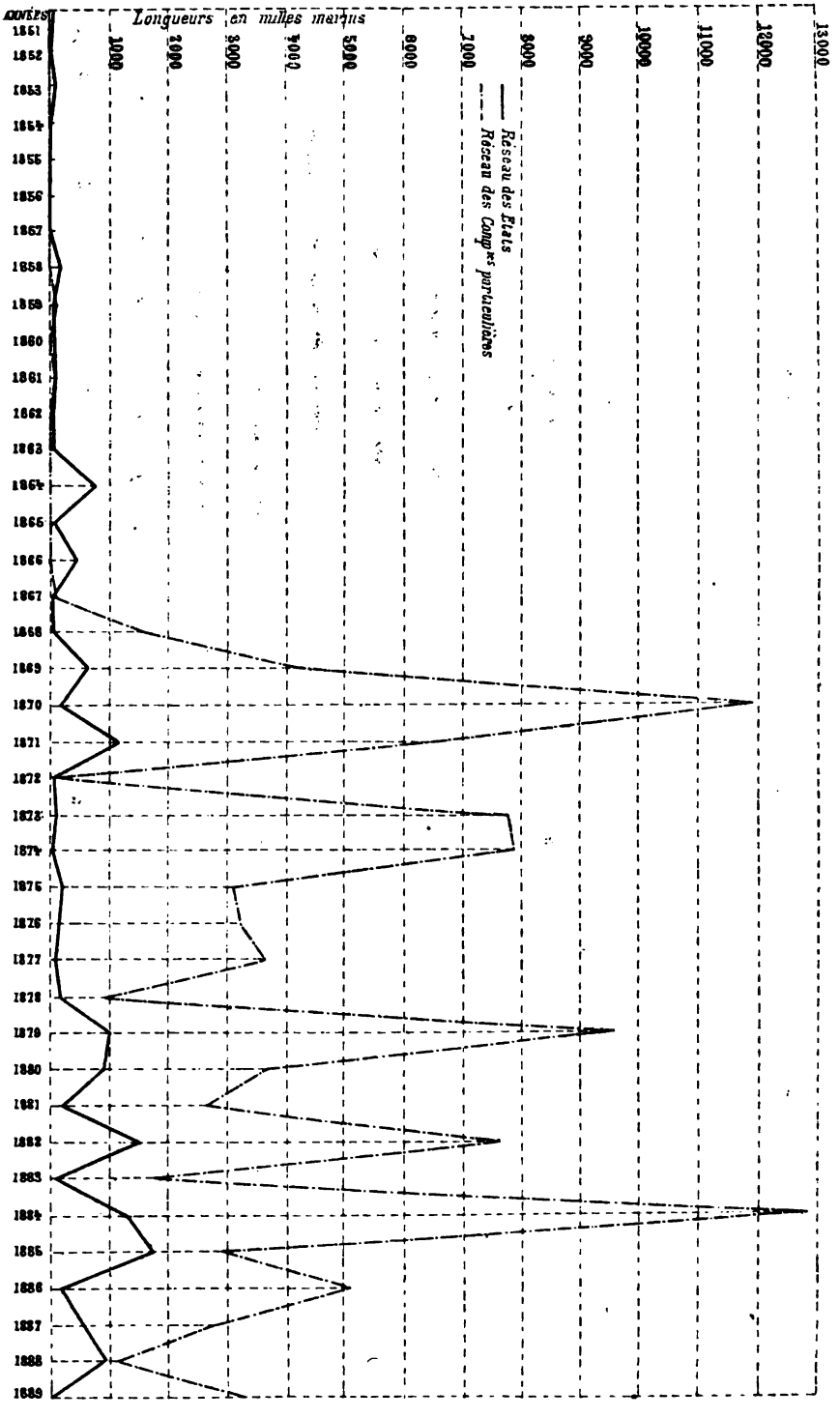
CABLES SOUS-MARINS POSÉS DEPUIS L'ANNÉE 1851 JUSQU'A L'ANNÉE 1889, CLASSÉS PAR PRODUCTION ANNUELLE.

ANNÉES	CABLES		TOTAUX	OBSERVATIONS
	AUX ÉTATS	AUX COMPAGNIES		
	Longueur	Longueur	Longueur	
	milles marins.	milles marins.	milles marins.	
1851. . . .	21,750	»	21,750	En sus des câbles ci-contre, il existe, comme câbles d'États, 709,186 et comme câbles de Compagnies 13.350,240
1853. . . .	65,520	»	65,520	
1854. . . .	3,220	»	3,220	
1856. . . .	»	12 »	12 »	
1858. . . .	114,541	»	114,541	
1859. . . .	20,250	60 »	80,250	TOTAL (milles marins) 14.059,426
1860. . . .	24,870	»	24,870	dont la date de pose ne nous est pas connue.
1861. . . .	62 »	64 »	126 »	
1862. . . .	5,660	»	5,660	
1863. . . .	9,270	»	9,270	
1864. . . .	760,250	»	760,250	
1865. . . .	44,800	»	44,800	
1866. . . .	422,435	»	422,435	
1867. . . .	2,300	70 »	72,300	
1868. . . .	7,740	1.557 »	1.564,740	
1869. . . .	600,280	4.269,360	4.869,640	
1870. . . .	163,362	11,907 »	12.070,362	
1871. . . .	1.092,020	6.499 »	7.591,020	
1872. . . .	42,874	»	42,874	
1873. . . .	72,920	7.763,110	7.836,030	
1874. . . .	40,470	7.833,640	7.874,110	
1875. . . .	165,460	3.043,940	3.209,400	
1876. . . .	115,305	3.215,370	3.330,675	
1877. . . .	73,840	3.623 »	3 696,840	
1878. . . .	141,310	883 »	1.024,310	
1879. . . .	987,830	9.570,440	10.558,270	
1880. . . .	900,170	3.671,460	4.571,630	
1881. . . .	219,188	2.661,300	2.880,488	
1882. . . .	1.507,033	7.603,610	9.110,643	
1883. . . .	84,998	1.744,290	1.829,288	
1884. . . .	1.340,856	12.885,589	14.226,445	
1885. . . .	1.716,951	2.934,737	4.651,688	États. 13.478,899
1886. . . .	177,393	5.095,720	5.273,113	Compagnies. . . . 107.546,405
1887. . . .	529,296	2.819,200	3.348,496	ENSEMBLE. . . 120.725,304
1888. . . .	906,871	1.154 »	2.060,871	
1889. . . .	26,680	3.255,399	3.282,079	
	12.469,713	94.196,165	106.665,878	

Pour rendre plus frappantes les conclusions à tirer de chiffres nombreux, nous avons fait figurer sous forme de graphique l'accroissement annuel du réseau sous-marin. Sous cette forme et en représentant à part les réseaux d'État et les réseaux appartenant aux Compagnies privées, on voit la télégraphie sous-marine libre, rester timide et réservée de 1851 à 1867. Seuls les États font des essais, établissent les petites lignes nécessaires à la défense de leurs côtes, à la traversée des estuaires.

En 1867, le grand mouvement des Compagnies, toutes anglaises, commence à se dessiner. Les gouvernements continuent à établir des lignes onéreuses, risquées, indispensables à leur service colonial, celles que ne veulent pas se charger d'exploiter, même avec subvention, les Compagnies privées. Mais le mouvement des Compagnies est commencé et il ne s'arrêtera plus que lorsque le globe entier sera enserré dans ce réseau qui le vivifie, dans ce réseau qui, comme les filets nerveux du corps humain portent la pensée et la volonté du cerveau à l'extrémité des membres vivants les plus éloignés, portera, lui aussi, la pensée et la vie dans les contrées les plus lointaines. Or, ces membres vivants s'accroissent tous les jours : hier c'étaient l'Amérique, les Indes; aujourd'hui ce sont l'Australie, l'Afrique ; demain ce sera l'océan Pacifique avec ses îles innombrables.

Le réseau télégraphique sous-marin qui a mis vingt ans à s'étendre et a coûté un milliard, sera doublé dans dix années et comme un câble ne peut durer éternellement, il faut prévoir que jusqu'aux premières années du siècle prochain il y aura plus d'un milliard encore de câbles à construire et à poser.


Longueurs en milles marins
1000
2000
3000
4000
5000
6000
7000
8000
9000
10000
11000
12000
13000
Réseau des Etats
Réseau des Compies particulières
1851
1852
1853
1854
1855
1856
1857
1858
1859
1860
1861
1862
1863
1864
1865
1866
1867
1868
1869
1870
1871
1872
1873
1874
1875
1876
1877
1878
1879
1880
1881
1882
1883
1884
1885
1886
1887
1888
1889

Et ici, incidemment, un grave problème s'impose, un immense inconnu que l'on ne saurait trop signaler en toutes occasions. On peut prévoir que dans peu d'années, dix ans au plus, la matière première indispensable à la fabrication des câbles, laquelle depuis dix ans a triplé de valeur, passant de 3 *f* le kilogramme à 10 *f*, la gutta-percha, aura totalement disparu.

L'exploitation barbare des arbres à gutta qui n'existent à l'état sporadique que dans les îles de la Sonde, cette exploitation intense et destructive d'arbres que personne ne replante et qui exigent vingt à trente ans de vie pour redevenir producteurs, cette disparition d'arbres si complète qu'on ne retrouve même presque plus de graines pour étudier de nouveaux semis, est une calamité pour la civilisation entière. Le cri d'alarme a été jeté par des voix autorisées.

L'éminent Ingénieur des Télégraphes, M. Séligmann-Lui, tout récemment un aventureux et savant explorateur, M. Sérulas, en même temps que de nombreux publicistes savants et industriels anglais, se sont occupés de la question. Les forces de simples particuliers ne peuvent rien contre un mal si grand : c'est une ligue des États qu'il faudrait, et cette alliance pacifique pour la défense d'un intérêt général, universel, serait à peine suffisante pour nous rassurer, s'il ne nous restait la suprême espérance que nous avons en la science moderne. Elle seule peut nous sauver, nous trouver un succédané artificiel composé d'éléments faciles à se procurer dans la nature et remplaçant cette inestimable gutta qui menace de nous faire défaut au moment où nous en avons le plus besoin.

Après cette revue d'ensemble de la production annuelle des câbles sous-marins, il est intéressant d'examiner leur répartition par pays.

Le tableau suivant (tableau B) nous donne, pour les principaux pays, le réseau de l'État et celui des Compagnies privées.

Tableau B

CABLES SOUS-MARINS POSÉS DEPUIS L'ANNÉE 1851 JUSQU'A L'ANNÉE 1889, CLASSÉS PAR PAYS

ÉTATS	AUX ÉTATS			AUX COMPAGNIES			TOTAUX		
	NOMBRE	LONGUEUR	LONGUEUR MOYENNE	NOMBRE	LONGUEUR	LONGUEUR MOYENNE	NOMBRE	LONGUEUR	LONGUEUR MOYENNE
		milles marins.	milles marins.		milles marins.	milles marins.		milles marins.	milles marins.
France et Colonies	55	4.068,143	73,936	9	4.389.340	487,700	64	8.457,483	132,148
Angleterre —	195	3.600,468	13,336	230	93.118,125	404,861	425	96.718,593	227,573
Allemagne —	43	1.579,328	36,728	»	»	»	43	1.579,328	36,728
Italie —	38	1.027,100	27,029	»	»	»	38	1.027,100	27,029
États-Unis (Câbles transatlantiques)	»	»	»	8	10.038,940	1.254,867	8	10.038,940	1.254,867
Autres pays	467	2.903,860	6,218	»	»	»	467	2.903,860	6,218
TOTAUX	798	13.178,899	16,5	247	107.546,405	435	1.045	120.725,304	»

Nous remarquons, d'après ce tableau, que les États, et c'est logique, ne font construire et surtout n'exploitent que des câbles de faible longueur, des câbles côtiers ou reliant des îles voisines. Ce sont presque toujours des nécessités de défense nationale ou d'administration qui les ont obligés à établir des communications télégraphiques sous-marines d'autant plus coûteuses à exploiter qu'elles sont plus courtes. Remarquons aussi que c'est la France qui, comme État, possède la plus grande longueur de câbles, presque le quart de plus que l'Angleterre, le pays où les gouvernants sont réputés comprendre mieux que partout ailleurs les véritables intérêts commerciaux et financiers de leurs commettants

Pour compléter ces notions générales sur l'importance de l'industrie des câbles sous-marins, nous avons pensé qu'il était utile de donner une idée de la flotte qu'exigent la pose et l'entretien de ce réseau valant aujourd'hui plus d'un milliard.

Le tableau (C) donne l'état de cette flotte de trente-six vapeurs dont le tonnage s'élève au chiffre de 55 783 *t*, la force en chevaux nominaux à 8 438 chevaux-vapeurs et dont la valeur minima est aujourd'hui de 30 millions de francs.

Seuls les États français et anglais ont chacun deux bateaux destinés aux travaux de câbles. L'Etat anglais pour cent quatre-vingt-quinze câbles emploie 1 490 tonneaux. La France pour cinquante-cinq câbles emploie 851 tonneaux. Il convient d'ajouter que les deux navires français sont de vieux avisos mal outillés et incapables de faire un simple voyage aux Antilles.

En cas de réparations lointaines, l'État français doit forcément s'adresser aux Compagnies anglaises.

Tableau C

NAVIRES DESTINÉS A LA POSE ET A LA RÉPARATION DES CABLES SOUS-MARINS DU MONDE ENTIER.

COMPAGNIES, ETC.	NOMS DES STEAMERS	GROSS TONNAGE	CHEVAUX NOMINAUX	CAPITAINES	STATIONS ORDINAIRES
Anglo-Américain	Minia.	1.986	250	S. Trott.	Halifax N. S.
Canada (Gouvernement)	Newfield.	785	90	R.-A. Guilford.	—
Câble commercial	Mackay-Bennett.	1.718	300	P. Le Fanu.	Londres.
Cie franç. du Télégraphe de Paris à New-York.	Pouyer-Quertier.	1.385	160	Stuart Fossard.	Havre.
Chine (Formose) Gouvernement	Fee Cheu.	1.034	150	W.-R. Lugar.	Formose.
Eastern	Amber.	978	160	R. Greey.	Méditerranée.
Eastern	Electra.	1.000	200	Scott-Smith.	Gibraltar.
Eastern	John Pender.	1.213	98	W. Perkins.	Londres.
Eastern	Mirror.	1.500	»	G. Pattison.	—
Eastern	Chiltern	1.304	200	J.-W. Starkey.	Aden.
Eastern and South African	Great Northen.	1.352	130	J.-A. Brymer.	Cape Town.
Eastern Extension	Recorder.	1.201	250	C.-O. Madge.	Singapour.
Eastern Extension	Sherard Osborn.	1.429	900	W. Fawcus.	—
France (Gouvernement)	Ampère.	304,753	70,7	—	Brest.
France (—)	Charente.	547,824	120	—	La Seyne.
General Post Office	H. M. T. S. Monarch.	1.121,59	1.040	J.-E. Thompson, N.C.	Woolwich.
General Post Office	H.M.T.S. The Lady Carmichael.	369	165	J. Wrake.	Douvres.
Great Northern	H.-C. Oersted.	749	120	G. Oerster.	Copenhague.
Great Northern	Stare Nordiske	832	120	Einar Suenson.	Woosung (Shanghaï).
Henley's	Westmeath.	3.191	300	Stonehouse.	Londres.
India Rubber, Gutta Percha, and Telegr. Works	Bucaneer.	785	180	D.-W. Barker.	Silvertown.
— — —	Dacia.	1.856	170	—	—
— — —	International.	1.381	110	—	—
— — —	Silvertown.	4.935	400	A.-S. Thomson.	—
Indian (Gouvernement)	J. G. T. S. Patrick Stewart.	1.115	130	W.-A. Tindall.	Karachi.
Pirelli and Co.	Citta di Milano.	1.220	220	—	Spezia.
Telegraph Construction and Maintenance	Britannia.	1.525	200	J. Kennedy, R. N. R.	Londres.
— — —	Calabria.	3.321	220	C. Powel.	—
— — —	Scotia.	4.667	550	W.-R. Cata.	—
— — —	Seine.	3.553	500	J. Seymour.	—
Western and Brazilian	Norseman.	1.372	200	W.-H. Lavy.	Pernambuco.
— —	Viking.	436	60	W.-H. Adamson.	Montevideo.
West Coast of America	Retriever.	624	95	W.-B. Minhinnick.	Callao.
West India and Panama	Duchess of Malborough.	402	80	J.-W. Dickinson.	Antilles.
— —	Grappler.	868	100	J. Farrier.	—
Siemens Bros. and Co	Faraday.	4.916	500	P. Le Fanu.	Londres.
		56.976,167	8.538,7		

nous faut ici poser une question :

« Les câbles sous-marins doivent-ils être fabriqués par l'État ou par l'industrie privée? »

La question a déjà été agitée et tranchée en Angleterre. Le gouvernement anglais s'est imposé non seulement la sage règle de laisser l'initiative de la fabrication des câbles sous-marins à l'industrie privée, mais encore de favoriser, soit par des subventions, soit par un appui diplomatique énergique et continu, l'établissement de Compagnies anglaises de câbles sous-marins atterrissant dans tous les pays du monde.

L'influence anglaise s'est donc établie hautement dans les moyens de communications télégraphiques. Il reste cependant des places à prendre. Mais l'État français ne pouvant relier l'un à l'autre des pays étrangers et n'ayant pour lui-même qu'une somme limitée de câbles à construire, lui convient-il de risquer les aléas d'une industrie si spéciale?

Il nous semble qu'il suffit de poser cette question pour que le bon sens réponde.

Deux seules exceptions pourraient justifier l'initiative de l'État: les nécessités de la défense, et l'absence absolue d'une industrie nationale qui rendrait l'État tributaire des usines étrangères pour une fabrication indispensable au pays.

Et c'est ce qui a été bien compris par l'Italie, qui a encouragé l'installation de l'usine de la Spezzia sous le nom de M. Pirelli. Non seulement, pour développer cette industrie, le gouvernement italien a assuré la marche de l'usine en lui donnant pendant près de trois ans des commandes ayant atteint plusieurs millions de francs, mais de plus il a pris sur lui l'entretien de la *Cité-de-Milan*, navire spécial destiné à la pose et à la réparation des câbles de la Méditerranée. Aussi quelles conséquences fertiles pour l'usine de la Spezzia! Nous apprenions ces derniers temps que, non content de fabriquer des câbles pour l'Italie, M. Pirelli, en concurrence avec les usines anglaises, posait le câble reliant l'Espagne à la côte nord-ouest de l'Afrique, après avoir déjà relié les Baléares à la péninsule.

Il était naturel que l'État, en France, se préoccupât à son tour de la question des câbles. Nous avons vu qu'au moment de la lutte égale, ni nos savants, ni nos capitaux, ni nos marins n'étaient prêts. On courut au plus pressé sans trop regarder à l'argent; on commanda les câbles à l'Angleterre, on fit une petite usine de réparations à la Seyne, on aménagea deux avisos. Tout cela fut

bien fait, mais ce n'était que des palliatifs. Les esprits distingués, et il n'en manquait pas à la direction des Postes et Télégraphes, comprenaient qu'il fallait faire davantage ; mais suivant la direction du vent qui soufflait, tantôt on encourageait — en paroles — les industriels que l'on croyait les plus aptes à construire les câbles, tantôt on rêvait de faire une industrie d'État. Pour ne pas agir à la légère et éviter surtout les responsabilités, on s'entourait de renseignements : tant que les industriels anglais ne craignaient pas la concurrence, leurs renseignements étaient de nature à décourager les plus hardis parmi les Ingénieurs des Télégraphes. Les démêlés de certains constructeurs anglais et de l'Administration des Postes et Télégraphes sont restés légendaires. Telle usine déclarait tout haut qu'elle n'aurait plus jamais affaire avec le gouvernement français, tout en recevant intégralement le prix convenu de câbles que l'État déclarait fautifs.

Quand, excédé par cette exploitation, l'État voulut fabriquer ou encourager la fabrication nationale, c'est encore aux usines anglaises qu'il prit des informations. On connaissait en Angleterre les projets qui s'étudiaient en France. Au début, on ne les prit pas au sérieux; plus tard, on les discuta avec une hostilité bien naturelle. Quand on comprit qu'une concurrence allait naître, on s'inquiéta. L'État français s'informait toujours, et les conditions presque irréalisables, que, dans la meilleure intention du monde, il voulait imposer à ses fournisseurs nationaux trouvaient cette fois les usines anglaises prêtes à s'exécuter, fût-ce au prix d'une perte sérieuse, mais aussi avec la perspective d'enlever des commandes qu'ils croyaient indispensables à l'existence des rivaux naissants.

III

Création de l'usine Calais. — Les choses auraient pu durer longtemps ainsi sans un événement imprévu.

Au moment même où la question de l'établissement en France d'usines pour la fabrication des câbles sous-marins se discutait au sein des Compagnies dont l'industrie se prêtait à cette transformation, soit même à l'Administration des Postes et Télégraphes, des événements que nous n'avons pas à raconter ici, ni à apprécier, enlevaient à la Société Générale des Téléphones l'exploitation de ses réseaux téléphoniques.

Cette Société avait pris l'habitude d'initiatives hardies; quand l'État hésitait encore, elle avait osé installer la téléphonie en

France. Elle se risqua encore une fois. Comptant sur la bienveillance du Gouvernement, assurée d'un capital considérable qu'elle savait lui être dû par l'État, elle ne voulut pas perdre de temps et entreprit la construction des câbles sous-marins. Son usine de Bezons (ancienne usine Rattier) lui permettait, sans installation nouvelle, de fabriquer par jour au delà de 20 milles marins (près de 40 *km*) d'âmes de câbles sous-marins.

Pour se compléter, et transformer ces âmes en câbles sous-marins, il lui fallait construire une usine nouvelle.

Il lui fallait trouver dans un port de mer répondant aux conditions de l'industrie des câbles un espace suffisant pour établir une usine en état de lutter avec les usines anglaises de la Tamise.

Les ports de la Méditerranée étaient éliminés pour divers motifs : population ouvrière moins habituée au travail industriel, combustible plus coûteux, enfin éloignement trop considérable de l'usine de Bezons-sur-Seine où se fabriquaient les âmes des câbles. Ce même éloignement et diverses considérations locales interdisaient l'adoption des ports de l'Océan. Restaient ceux de la Manche : les difficultés d'accès firent éliminer Dunkerque ; le prix des terrains, le Havre. Calais, que des travaux récents venaient de transformer en un port de premier ordre, réunissait toutes les conditions désirables. L'accès du port était facile, le bassin Carnot avec sa profondeur de 8 *m* assurait aux plus grands navires un chargement paisible. Le charbon français, anglais ou belge était abondant et à bas prix, les terrains à prix abordables absolument plats et sans limites.

Le choix du terrain destiné à l'usine effectué en mai 1890, on acheta 20,000 m^2 situés le long des voies du chemin de fer du Nord, à 150 *m* du quai d'embarquement Est du bassin Carnot. Le projet de l'usine fut rapidement établi, les machines et l'outillage aussitôt commandés ; en décembre 1890, huit mois après la décision prise, l'usine de Calais était en pleine fabrication.

Il ne m'est pas permis d'ajouter beaucoup à cet exposé sommaire. Notre collègue et ami, de Nansouty, a, dans le *Génie civil* du 14 mars 1890, développé suffisamment ce qui pouvait être dit touchant l'usine de Calais. Nous renvoyons à son intéressant travail tous ceux qui voudraient des détails que le temps ne me permet pas de donner ici. Qu'il nous suffise de dire que l'on peut fabriquer à Calais, par jour de travail, 20 à 25 milles marins de câbles télégraphiques. Les prix de revient sont sensiblement les mêmes que dans les usines anglaises, à qualité égale de maté-

riaux employés. S'il nous était permis de le dire sans blesser nos concurrents anglais, nos essais électriques sont peut-être plus minutieux que les leurs : nous sommes encore trop jeunes dans la partie pour avoir leur audace et nous nous méfions davantage de notre inexpérience. Disons même, en passant, que l'on ne s'est aventuré dans la fabrication des câbles sous-marins qu'après des études qui ont duré plusieurs années et qui datent de notre regretté maître et prédécesseur, M. Joseph Richard, ancien directeur des Télégraphes et administrateur des Usines Rattier, et après l'expérience acquise dans la pose du câble Martinique-Guadeloupe, fabriqué à Bezons avec les moyens restreints d'armature que possédait cette usine.

Si nous nous sommes attachés, dans l'étude et la construction de l'usine de Calais, à ne rien sacrifier au luxe, nous avons au contraire tenu à ce que rien aussi ne fût négligé pour obtenir une exploitation rationnelle, économique et largement développable. Nous n'avons jamais oublié que l'industrie des câbles exige l'immobilisation de gros capitaux, non seulement par l'emploi de matières coûteuses, comme la gutta, mais surtout par l'entretien d'une usine et d'un personnel technique spécial restant parfois longtemps sans trouver leur utilisation. Après quelques mois de fabrication, tout s'arrête, et souvent pour une année : cela a lieu ainsi dans les usines anglaises ; ainsi sommes-nous prêts à faire dans notre usine de Calais. Par contre, il faut dans un court espace de temps pouvoir livrer des longueurs considérables de câbles que réclament un besoin pressant, les nécessités de l'industrie ou les exigences de la défense nationale. Une fois entrés dans la voie qu'on s'était proposé de suivre, on ne pouvait se contenter d'une petite usine : Calais peut, en joignant à ses forces les ressources de l'usine de Bezons, fournir en six mois un câble transatlantique de grande longueur.

Pour donner une idée rapide de la disposition de notre usine de Calais, nous avons pensé que le meilleur moyen était de remettre au siège de la Société une collection des vues principales d'ensemble récemment photographiées à Calais.

Nous nous permettrons d'invoquer aussi le témoignage d'autorités qui ont vu de leurs yeux et l'usine et son fonctionnement. Nous sommes profondément reconnaissants de la visite, de l'approbation et des encouragements que nous avons reçus de maîtres compétents qui ont pour nom : Maurice Lévy, Mascart, A. Sartiaux, Gody. Je tiens tout spécialement à témoigner à M. Wüns-

chendorff, des Postes et Télégraphes, auteur du plus complet et du plus parfait ouvrage sur la télégraphie sous-marine, combien nous devons à son travail : en visitant l'usine de Calais, il a dû reconnaître partout l'empreinte de ses idées sans lesquelles notre tâche eût été encore plus ardue, sinon impossible.

Nous manquerions à tous nos devoirs si nous ne mentionnions les noms des collaborateurs méritants qui ont aidé à l'installation de la première usine de câbles sous-marins établie en France. Je remercie donc publiquement ici, MM. H. Dumont, Ingénieur des Arts et Manufactures, qui a suivi toute la construction de l'usine ; G. Coquille, Ingénieur des Arts et Manufactures, qui, aidé de son camarade d'école Philippe et de M. Risler, ancien élève de l'École polytechnique, ont mis en marche la fabrication et dressé en un mois un personnel de plus de 300 ouvriers ; enfin M. Fournier qui, aidé de MM. Mac-Nab et Rouillard, de l'École centrale, et Chaillé, a établi le service vraiment remarquable des essais électriques et l'installation ingénieuse du laboratoire d'essais.

Nous ne voulons pas terminer ce rapide exposé sans essayer de graver dans les esprits quelques vérités essentielles qui découlent de notre communication au sujet des câbles sous-marins.

Premièrement, nous avons aujourd'hui en France une industrie nouvelle, industrie qui depuis 40 ans a donné lieu à une production de un milliard de francs de câbles sous-marins fabriqués et monopolisés jusqu'à ce jour par l'Angleterre. La France seule a payé pour son compte un tribut de 45 millions de francs depuis 29 ans. Nous voilà affranchis.

Deuxièmement, la fabrication des câbles sous-marins en France, grâce à notre arrivée ultime, est mieux outillée qu'en Angleterre tant au point de vue technique qu'au point de vue industriel. Nous serions des ingrats cependant si nous ne reconnaissions pas hautement ce que nous devons à l'expérience de nos confrères anglais et à leur indomptable persévérance. Si donc l'esprit public en France et surtout l'administration française comprennent l'intérêt national et économique qui s'attache à cette industrie, elle sera prospère et, sans rien enlever à l'Angleterre, elle saura se faire une juste part dans les travaux futurs.

Enfin, — troisièmement, — et pour terminer, nous sommes redevables de cet accroissement réel de richesse nationale à l'initiative privée, et nous aimons cette origine ici, aux Ingénieurs civils.

La Société générale des Téléphones a su vaillamment se retourner dans une situation où d'autres peut-être auraient sombré. Privée de son industrie d'exploitation téléphonique qu'elle avait acclimatée et perfectionnée, elle s'est souvenue à propos qu'il y avait d'autres moyens d'utiliser son activité et ses capitaux : ce n'est certes pas vous, Messieurs et chers Collègues, et surtout sous une telle Présidence, qui contesterez qu'elle a deux fois bien mérité de l'Industrie française.

NOTICE SUR L'ANTHEXIMÈTRE

Appareil d'essai des propriétés résistantes des matériaux divers, bruts ou ouvrés, à la traction, compression, flexion, etc., automatique, enregistreur.

PAR

M. ÉMILE PETIT

Ingénieur des Arts et Manufactures.

Le but que je me suis proposé en créant cet appareil dont le nom (anthexim ètre, qui dérive du grec : αντεξις, résistance; μετρον, mesure) indique la destination, a été l'obtention d'un instrument d'essai à toutes fins (traction, compression, flexion, etc.), enregistreur, automatique dans la limite du possible, simple, d'un fonctionnement certain, d'une vérification facile, d'une construction économique; ceux généralement employés ne me paraissant pas satisfaire à ces conditions.

La plupart sont constitués par une romaine sur laquelle on fait courir un poids curseur, de façon à équilibrer constamment l'effort de traction, variable, exercé sur la pièce essayée par leur appareil de traction qui consiste généralement, soit en un dispositif mécanique à engrenages et vis sans fin, soit en une presse hydraulique dont la tige regarde cette pièce. Ils nécessitent l'intervention d'un opérateur soigneux. On conçoit qu'on puisse, à l'aide de dispositifs mécaniques (ou électriques), obtenir le déplacement automatique du poids curseur et suppléer ainsi à l'attention de l'opérateur; pareillement, qu'on puisse, en reliant un crayon à ce curseur par l'intermédiaire d'un fil, en faire dériver l'enregistrement.

Mais ce ne sont pas là des solutions franches, susceptibles d'une confiance absolue.

D'autres, au lieu d'emprunter à la pesanteur la force qui doit équilibrer les efforts successifs auxquels on soumet la pièce éprouvée, s'adressent aux ressorts. Un ressort métallique, organe d'une

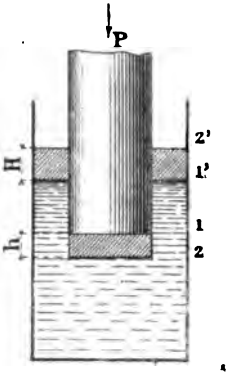
certaine délicatesse, exige de la surveillance et des vérifications de tare, et n'est pas sans difficultés de construction, surtout s'il s'agit de courses longues et d'efforts considérables. Un ressort gazeux tel qu'est, en somme, le manomètre différentiel à mercure et air comprimé que comportent certains systèmes, est plus pratique, mais n'en constitue pas moins un organe délicat susceptible de besoins de tarages; de plus, il n'est pas enregistreur; on conçoit, néanmoins, qu'on puisse, à la rigueur, en faire dériver des tracés. Le manomètre métallique, qui n'est qu'une façon de ressort métallique, susceptible d'être plus aisément enregistreur, comporte, à un degré plus élevé peut-être, les mêmes inconvénients. Un ressort, un manomètre, pratiquement, ne valent pas une balance. La pesanteur semble pouvoir et devoir fournir la meilleure solution.

Dans cet ordre d'idées, je me préoccupai de la substitution, à la romaine, du levier spirale (à spirale d'Archimède) susceptible à un plus haut degré que le peson de permettre une bonne solution. Cet organe, employé dans certaines bascules automatiques à cadran indicateur, y donne de bons résultats et pourrait se prêter, simplement, à l'enregistrement; (je retins dans mes brevets, parallèlement à d'autres spécifications, l'application de leur principe aux appareils d'essai). Mais l'étude de leur emploi me porta à regarder comme lui étant pratiquement préférable, dans le cas actuel visé, celui de l'organe que mon ami, M. Henri Fayol, et moi avions antérieurement employé avec succès dans l'appareil d'essais relatifs aux questions de frottements, dénommé *Frictomètre Petit et Fayol*, breveté alors avec d'autres applications du même organe et de ses variantes, ainsi que son principe, sous la rubrique « mensuration hydraulique des forces », récompensé par la Société d'Encouragement pour l'industrie nationale d'une médaille d'argent en 1887 (voir *Bulletin de la Société d'Encouragement*, numéro de septembre 1886, f° 462; numéro de juin 1887, f° 549; numéro de décembre 1887).

Dans cet appareil, destiné à opérer dans des conditions *identiques à celle d'une pratique donnée* et composé essentiellement : 1° des *tourillons et coussinets d'essai, amovibles*, et de leurs *organes moteurs;* 2° d'une *romaine de chargement;* 3° du *fléau dynamométrique*, à l'extrémité duquel agit le *ressort hydraulique*, mesureur des forces; 4° de l'*appareil enregistreur* des résultats sous la forme d'une courbe continue (pl. 33), l'organe mesureur de la force engendrée par le frottement consiste essentiellement en un cylindre, librement mo-

bile dans une bâche, également cylindrique, contenant un liquide quelconque, spécialement de l'eau.

Soient 1-1′ la position originelle du flotteur et du niveau de la masse liquide, 2-2′ leurs nouvelles positions sous l'action d'une force verticale p, h la course accomplie par le flotteur H le déplacement correspondant du niveau du liquide.



On comprend :

s étant la section du flotteur,

S celle de la bâche,

S-s celle de leur intervalle annulaire,

K le rapport $\frac{s}{S-s}$.

que pour cette course, descendante par exemple, du flotteur, de valeur h, sous l'influence de la force p, le niveau du liquide se relèvera de $H = kh$, et que la variation de poussée engendrée sera, en vertu du principe d'Archimède :

$$p = K\,h\,s\,d + h\,s\,d$$
$$= (K+1)\,h\,s\,d,$$

d étant le poids spécifique du liquide.

Pour l'eau, d étant 1 000, on a :

(0) $$p = (K+1)\,h\,s \times 1\,000.$$

Formule générale qui permet de calculer, soit s, soit S, soit K en fonction des autres éléments :

(1) $$s = \frac{S\,p}{S\,h \times 1\,000 + p},$$

(2) $$S = \frac{s\,p}{p - h\,s \times 1\,000}.$$

K en fonction de S :

(3) $$K = \frac{p}{h\,S \times 1\,000}.$$

ou en fonction de s :

(4) $$K = \frac{p}{hs \times 1\,000} - 1$$

On conçoit ainsi que l'on puisse, avec un dispositif basé sur ce principe, réaliser, comme il a été fait dans le frictomètre, un vé-

ritable ressort hydraulique, dans lequel la pesanteur engendre automatiquement une résistance à chaque instant égale à la force variable qui actionne le flotteur, et qui jouit, grâce à la cylindricité du flotteur et de sa bâche, de la propriété de subir, à l'instar d'un ressort parfait, des changements de dimensions absolues (course absolue) et relatives, proportionnels à l'intensité de cette force et susceptibles, par suite, d'en donner la mesure cherchée.

Il est visible qu'on peut, indifféremment, obtenir ces mêmes effets d'un flotteur agissant par émersion, au lieu d'immersion; pareillement d'une bâche mobile combinée avec un flotteur fixe, agissant soit par immersion, soit par émersion, au lieu d'un flotteur mobile combiné avec une bâche fixe (voire même à cet effet utiliser, si besoin était, des mouvements simultanés de ces deux organes, rendus convenablement solidaires); et qu'on pourrait, au lieu de leurs mouvements absolus, considérer ceux absolus du liquide, ou encore les mouvements relatifs, soit de ces organes par rapport au liquide, soit du liquide par rapport à eux.

Il est également visible qu'on peut obtenir d'un tel système l'indication et l'enregistrement des efforts à mesurer (évalués en tonne, quintal ou kilogramme) à l'échelle que l'on veut; qu'on n'a, pour changer cette échelle, qu'à changer, soit le flotteur et sa bâche, soit, plus simplement, l'un ou l'autre des deux, et qu'on arrive au même résultat par l'emploi des procédés susceptibles d'équivaloir à une modification des sections des flotteurs ou bâches, tels que : flotteurs accessoires, cylindres rétrécisseurs de la section du cylindre liquide introduits dans la bâche, ou bâches accessoires susceptibles de produire, par la simple manœuvre d'un robinet, le changement d'échelle voulu. (Une application de ce dernier mode a été faite au Frictomètre, chez M. Allaire, Ingénieur à Levallois. Seine.)

Point n'est besoin de dire que cette sorte de dynamomètre est, à la fois, d'une construction économique et facile, d'une vérification aisée, et reste susceptible du moindre dérangement, tout en réalisant une précision, à la délicatesse de laquelle on peut demander ce qu'on jugera nécessaire.

Pour en réduire les dimensions, on peut le conjuguer avec une romaine.

C'est ainsi qu'il existe, dans l'Antheximètre; (et aussi dans le Frictomètre, dont le fléau et le rayon du tourillon d'essai constituent en somme une romaine ou frein de Prony, rendu automatique

par l'adjonction du ressort hydraulique, et enregistreur par celle du mécanisme spécial voulu).

Dans les types étudiés ou construits de l'Antheximètre, la romaine est au 1/20. On n'a ainsi à demander au ressort hydraulique qu'un fonctionnement limite de 3 *t* pour un appareil de la force de 60 000 *kg*, de 5 *t* pour un appareil susceptible d'essais à 100 000 *kg*, ou de 5 *kg* pour un appareil de 100 *kg*.

En outre de ces diverses particularités d'ordre essentiel, l'Antheximètre en comporte d'autres dont voici les principales :

Son appareil de traction qu'actionne convenablement, soit une simple pompe à main, soit une pompe mécanique d'un système quelconque, spéciales, soit une conduite forcée (de préférence avec accumulateur), consiste en une presse hydraulique fonctionnant à une pression de plus de 100 *kg* par centimètre carré (environ 125 *kg*), disposée à l'inverse du mode ordinairement employé dans les appareils de ce genre, dont le piston porte, à l'arrière, une tête où s'amarre une double tige de traction. Cette disposition, en apparence plus compliquée, a pour avantages : de réduire le diamètre du piston pour une même force, de réduire le nombre de joints de deux, dont un intérieur (le principal), à un seul extérieur, et tout spécialement de permettre un amarrage plus commode des pièces d'essai, et, à la longueur égale de celle-ci, une longueur moindre du banc d'essai.

A l'arrière, ce piston creux porte un œil muni d'une garniture, dans lequel pénètre un tube fixe où l'on peut à volonté diriger l'injection d'eau, constituant ainsi une seconde petite presse hydraulique destinée au retour rapide du piston, spécialement après chaque épreuve, par la simple manœuvre d'un robinet. Ce système, simple et d'un bon fonctionnement, est préférable aux systèmes usités (tels que vis de refoulement).

Sur les tiges de traction, qui sont des barres rondes, se fixent, en des points variables, à l'aide de simples clavettes, des traverses qui reçoivent les pièces d'amarrage variées, nécessaires ; on peut ainsi, aisément, utiliser au mieux la longueur du banc d'essai et, notamment, conserver la course voulue malgré la longueur variable de la pièce à essayer.

Ces traverses coulissent sur des tiges guides, cylindriques ; ce mode de glissières est le plus économique. En même temps, ces tiges qui servent d'entretoise entre l'avant et l'arrière, c'est-à-dire entre l'appareil de traction et celui dynamométrique, s'opposent par leur résistance à tout déplacement possible de ces deux

parties sous l'influence de l'effort de traction ; convenablement centrées, à cet effet, elles travaillent presque exclusivement par compression. Cette disposition, substituée au bâti primitif en fonte travaillant par flexion, a permis, sans préjudice pour la stabilité nécessaire, de réduire au minimum le poids et le coût de l'appareil.

On conçoit aisément qu'on n'ait, au cas où cet appareil serait destiné à l'épreuve de pièces de très grande longueur, telles que tiges, câbles, chaînes, etc., entiers, qu'à le couper en avant des organes dynamométriques, et à en séparer les deux parties convenablement ancrées à défaut d'entretoises continues, pour avoir, sans modification sensible, un appareil en deux pièces, de toute longueur, apte à ces essais spéciaux.

On peut atteler à l'œil de ces traverses les différents systèmes d'amarrage qu'on voudra. D'une façon générale, les dispositifs en forme de coin ou cône, à serrage automatique, nous paraissent à préférer (laissant de côté, bien entendu, le cas de pièces façonnées avec tête ou autre organe de bonne retenue). Nous n'entrerons pas dans le détail de ces systèmes dont l'application comporte forcément des variantes suivant la nature et les dimensions des pièces d'essai. L'amarrage de quelques-unes spéciales, telles que les câbles de mines entiers, a été l'objet de difficultés et d'essais, que nous n'enregistrons que pour mémoire, aux mines de Commentry. Le système mixte (à tête et serrage à coin), actuellement employé, y fonctionne convenablement.

Ajoutons que les glissements possibles aux points d'amarrage, quelque importants qu'on puisse les supposer, restent d'effet nul sur la précision de l'essai. A cette intention les parties des pièces d'essai qu'on veut considérer et dont les variations de longueur restent seules à mesurer, sont à volonté, limitées par des pinces ou tocs appropriés, dont le mouvement est transmis à l'enregistreur de la façon expliquée ci-dessous.

A l'arrière de l'Antheximètre (nous appelons avant le côté de l'appareil de traction) se trouve l'appareil dynamométrique actionné par la dernière traverse, dite d'arrière.

Cet appareil se compose essentiellement de la romaine et du ressort hydraulique précédemment décrits.

La romaine comporte, entre autres détails spéciaux, un galet de soutien, utile pour empêcher son décrochement à vide. Elle est d'une seule pièce et à couteaux. Ceux-ci convenablement exécutés résistent aux plus fortes charges.

Le ressort hydraulique, attelé à son plus long bras, est tout entier métallique ; on conçoit néanmoins qu'on pourrait, si on le voulait, substituer au métal de sa bâche une maçonnerie cylindrique parfaitement troussée.

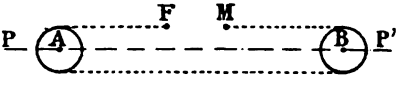
Son flotteur destiné, comme il a été dit, à agir par immersion est chargé forcément, d'un poids égal à la valeur maximum de la résistance qu'il est appelé à développer (y compris son poids propre et la pesanteur des pièces qu'il porte). Cette charge peut être demandée à une matière quelconque ; le plus simple est l'emploi de l'eau.

Son guidage, primitivement à fourchette et galets a pu, sans inconvénient pratique, être réduit à l'emploi d'une simple tige. Il porte à la partie inférieure une rondelle, destinée à agir comme frein hydraulique lors de la rupture, à l'effet de ralentir sa descente et éviter les chocs ou projections sans altérer en rien la sensibilité de l'appareil.

L'appareil enregistreur qui lui est superposé comportait primitivement une planchette mobile dans les deux sens : verticalement sous l'influence du flotteur, proportionnellement à l'intensité de l'effort exercé ; horizontalement sous l'influence de l'une des deux tiges légères de transmission, qui courent le long du banc d'essai, convenablement reliée soit au toc d'avant, soit au toc d'arrière, tandis que la seconde reliée à l'autre toc, transmettait son mouvement au crayon enregistreur. On comprend que, dans ces conditions, son mouvement de déplacement relatif (différence entre les mouvements absolus des tocs d'avant et d'arrière) donnât, à chaque instant, la mesure des variations de longueur de la portion de la pièce éprouvée à laquelle on a voulu limiter l'essai.

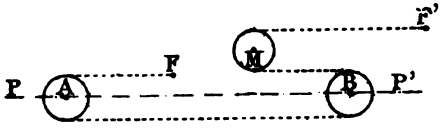
Dans les appareils actuels cette différentiation est obtenue directement et transmise au crayon même, par l'emploi d'un système funiculaire représenté ci-contre sous la forme la plus élémentaire.

Soient P et P′ deux poulies de centres A et B sur lesquelles s'enroule un brin FCM, de longueur fixe, d'extrémité fixe F, d'extrémité mobile M. Il est visible que, quels que soient les déplacements de ces poulies suivant la ligne A B, le point M restera fixe tant que la distance de leurs centres A B ne variera pas ; et que, si celle-ci varie, ce point se déplacera, dans un sens ou dans l'autre selon que cette distance A B augmentera ou diminuera, d'une quantité double de la variation de cette distance.



Dans l'appareil, les deux poulies A et B sont portées chacune par une des deux tiges de transmission; l'extrémité mobile M qui commande le crayon de l'enregistreur lui transmet, ainsi amplifiées dans la proportion de 1 à 2, les variations successives de longueur de la pièce soumise à l'essai. Dans ces conditions, le mouvement horizontal primitif de la planchette devient inutile. Son installation se trouve, par suite, simplifiée d'autant.

Ce dispositif, qui se trouve constituer du même coup un amplificateur funiculaire (on pourrait en réaliser à engrenages), se prêterait, aussi simplement, par la seule augmentation du nombre des poulies en A et B, à l'obtention d'amplifications plus considérables, proportionnelles à ce nombre de poulies ou brins. Si on voulait une amplification nulle, c'est-à-dire la transmission pure et simple des variations de longueur, ce serait pareillement chose facile. (Il suffirait pour cela de modifier, dans le sens indiqué ci-contre, la disposition du funiculaire. F et F' points fixes, M poulie additionnelle mobile, qui actionne le crayon.)



Il est facile de comprendre qu'on pourrait à l'inverse, avec ce même système funiculaire, obtenir une réduction des variations de longueur à observer; il suffirait pour cela d'intervertir les rôles des poulies en A et B et des extrémités du brin, d'attacher ceux-ci aux tiges mobiles de transmission, de fixer l'un des deux centres A ou B et de relier le crayon à l'autre, mobile ; le système funiculaire fonctionnerait à l'inverse.

Ajoutons, pour être complet, qu'on pourrait également obtenir cette même différentiation de l'emploi d'engrenages (ou galets), ou de celui de toute autre combinaison susceptible des propriétés cinématiques voulues.

Soient A et B (fig. ci-contre), deux crémaillères ou autres organes d'entraînement, par roulement, d'une roue ou disque mobile M, au centre de laquelle serait relié le crayon ; il est visible que son mouvement absolu constituera la différentiation du déplacement des pièces A et B.

Il suffirait, par conséquent, de fixer ces derniers aux tiges de transmission.

Disons enfin qu'on pourrait, si on l'estimait utile, amplifier ou

diminuer l'échelle des efforts, par des moyens analogues, sans toucher aux organes hydrauliques.

Le résultat pratique de ces diverses dispositions, réalisées ou indiquées pour mémoire, est l'obtention de courbes telles que celles dont la planche ci-jointe montre un spécimen, courbes dont les ordonnées sont proportionnelles aux valeurs successives de l'effort auquel est soumise la pièce expérimentée, et les abscisses égales ou proportionnelles aux variations de longueur successives de deux points choisis sur cette pièce, relatant ainsi toutes les circonstances du phénomène, et constituant, par le fait, une notation de la série des essais possibles sur une même pièce, c'est-à-dire son étude complète sous sa forme la meilleure.

Nous n'insisterons pas sur les avantages des tracés graphiques, automatiques surtout. D'une façon générale et particulièrement dans le cas actuel, rien ne saurait les remplacer.

Pour opérer, on fixe sur la planchette une feuille de papier, on vérifie le bon fonctionnement du crayon (qui indique le zéro) et on met la presse en marche. Le tracé se fait ; on laisse l'appareil fonctionner jusqu'à ce que la rupture se produise, si on tient à atteindre cette limite qu'on peut dépasser sans inconvénient. Après celle-ci, le flotteur, la romaine et la planchette reprennent lentement leurs positions premières. Le tout automatiquement, sans que l'essai, aussi rapide qu'on peut le désirer, demande un opérateur spécial, ni d'autre manœuvre que celle qui consiste à arrêter le mouvement de la presse et à en refouler le piston pour se prêter à une nouvelle épreuve. Avec une presse mue mécaniquement (pompe mécanique, conduite sous pression ou autre dispositif susceptible de produire une traction automatique), il suffit, pour cela, du simple jeu d'un robinet.

Nous eussions pu en cours de description mentionner d'autres détails tels que : le mouvement du crayon de l'enregistreur, ou de certaines pièces, au moyen de poids moteurs, d'action constante, quelle que soit l'intensité ou l'instantanéité de l'action de certaines forces en jeu, spécialement lors de la rupture ; le poids de tension du funiculaire, etc.

On peut se demander quels sont les inconvénients possibles de l'évaporation du liquide employé. Ces inconvénients sont nuls. En aucun cas, le déplacement de ces niveaux ne saurait influer sur la précision des résultats, puisque le zéro des efforts, indiqué par la position relative originelle du crayon par rapport à la planchette, n'a rien d'absolu ; il se déplacera selon les quantités du

liquide, voilà tout. De plus, rien n'est facile comme de réduire pour ainsi dire à néant cette évaporation, une fois les niveaux rég.és comme il convient; il suffit, pour cela, de verser à la surface du liquide une couche mince d'un pétrole non volatil, de densité moindre que l'eau. Chez M. Allaire, Ingénieur à Levallois-Perret (Seine), un Frictomètre fonctionne de la sorte avec la même eau, sans déplacement sensible du zéro, depuis plusieurs années.

On peut se poser également la question de la vérification et du tarage de l'appareil. Il est facile de les faire. En ce qui concerne le ressort hydraulique, il suffit de charger le flotteur et de mesurer les déplacements correspondants de la planchette par rapport au crayon. Comme vérification, appliquée à l'ensemble dynamométrique constitué par le ressort hydraulique et la romaine, il est facile d'introduire entre la presse et la romaine un dynamomètre de système quelconque (tel que, par exemple, un dynamomètre métallique ou un système manométrique). On pourrait semblablement substituer à l'action de l'appareil de traction celle d'une force (poids ou autre) connue. Notons enfin qu'on peut toujours installer à demeure, sur la presse hydraulique, un manomètre dont les indications restent un mode de contrôle constant, suffisant, alors surtout qu'on aura originairement vérifié l'appareil.

Ajoutons, s'il est nécessaire, que celui-ci et tout spécialement ses organes dynamométriques sont, comme on peut le voir, rustiques et susceptibles du moindre dérangement.

Tel qu'il est expliqué, l'Antheximètre se prête aux essais par traction. Pour l'employer à faire des essais de compression, il suffit d'y placer la traverse et les deux tiges spéciales additionnelles (figurées en ponctué); il ne reste qu'à y intercaler les pièces d'essai, susceptibles de comporter une longueur considérable. Pour opérer par flexion, on y ajoute une pièce d'appui de forme spéciale (indiquée également en ponctué). Il suffirait de dispositions accessoires, faciles à concevoir et réaliser, pour l'approprier à d'autres essais, tels que ceux par torsion, pliage, etc., avec plus de facilité peut-être que tout autre en l'absence, au banc d'essai, de tout bâti encombrant.

La description qui précède s'applique plus spécialement au plus important des types figurés, celui horizontal, établi en vue de l'essai de pièces de longueur quelconque, sous une charge aussi considérable qu'on le voudra (jusqu'à 100 *t* et au delà). C'est ce

type qui constitue, à quelques variantes près, le premier appareil (de 60 *t*) exécuté en 1886 aux ateliers des mines de Commentry (Allier) où il n'a, depuis lors, cessé de fonctionner utilement, d'une façon satisfaisante. C'est, croyons-nous, le premier qui ait permis d'expérimenter des câbles de mines de toute largeur et d'en obtenir des graphiques (voir planche spéciale).

Le second des types figurés, d'importance moindre, a été établi en vue de l'essai de pièces courtes, telles que barrettes métalliques, cubes, etc., susceptibles d'exiger une charge moindre (ne dépassant pas 30 *t*). Ces conditions de longueur, suffisantes pour certains emplois, ont permis de disposer verticalement la presse et son banc d'essai, de grouper cette presse et sa romaine d'une façon favorable à la réduction du bâti, de réduire au minimum l'espace occupé par l'appareil en même temps que son coût, et de permettre d'opérer par compression ou par flexion, sans exiger l'emploi de tiges additionnelles. Le ressort hydraulique et l'enregistreur ne diffèrent pas sensiblement des précédents. Ce type est de nature à rendre, dans certains cas spéciaux, d'utiles services.

Le troisième type vise le cas de matières spéciales telles que tissus, papiers, cuirs, caoutchoucs, fils métalliques ou autres, dont l'essai n'exige qu'une force relativement minime et a lieu seulement par traction. (D'une puissance limitée à 100 *kg*, on pourrait, en ne modifiant guère que ses dimensions, en étendre le champ d'action jusqu'à 500 ou même 1 000 *kg* et plus pour les emplois qui l'exigeraient.) Dans celui-ci, de dimensions réduites, portatif, l'appareil de traction se réduit à une vis à main ; les organes dynamométriques et l'enregistreur y ont été pareillement simplifiés dans la limite du possible. Ce type à bas prix peut servir aussi d'appareil de démonstration. (C'est celui qu'emploient : la Banque de France pour l'essai de ses billets, les papeteries de MM. Blanchet frères et Kléber à Rives, etc.)

La Société anonyme de Commentry-Fourchambault (place Vendôme, 16, à Paris), concessionnaire de l'Antheximètre, en construit actuellement les types suivants :

Type horizontal de.	30 *t*
—	60
—	100
Type vertical de.	30
Type horizontal de.	100 *kg*

(Nous devons à la bienveillance de sa direction de nous avoir facilité sa mise en œuvre et fourni, tout spécialement en la personne de M. Caillot, ingénieur des ateliers de ses mines, à Commentry, le meilleur des collaborateurs.)

Les explications qui précèdent permettent de comprendre que le prix de revient, relativement bas, de cette classe d'appareils, puisse concurrencer celui des autres systèmes et que ses qualités spéciales justifient sa faveur.

NOTICE NÉCROLOGIQUE

SUR

M. ÉMILE REYNIER

INGÉNIEUR ÉLECTRICIEN

PAR

M. Auguste MOREAU

Le cruel hiver que nous venons de traverser a fait bien des victimes, parmi lesquelles un grand nombre eussent pu vivre encore longtemps et fournir une brillante carrière. Tel est le cas de notre collègue Émile Reynier, enlevé brusquement, le 20 janvier dernier, par une pneumonie foudroyante, à l'âge de trente-neuf ans.

É. Reynier était né le 17 mai 1851. Ses premières études furent faites à Gonesse, à l'institution Plé, sous l'habile et affectueuse direction de son cousin, M. Wattellier, actuellement professeur à l'école Monge, qui lui inspira, dès l'âge le plus tendre, le goût des sciences et en particulier des mathématiques. Aussi bientôt, fut-il envoyé au collège Chaptal, où il put se compléter et puiser les notions scientifiques plus élevées qui lui rendirent plus tard de si grands services.

Sorti du collège en 1866, il entra chez son père, fabricant de lampes, auquel il était appelé à succéder; bientôt, sur sa demande, il fut envoyé passer un an dans les ateliers de M. Bourdon, constructeur de manomètres, où il put acquérir de solides connaissances pratiques. Rentré ensuite dans la maison paternelle, il manifesta déjà, sous toutes sortes de formes, son esprit inventif, et le plus souvent avec succès.

Travailleur acharné, il continuait depuis le collège à étudier constamment les sciences qu'il n'avait pas encore suffisamment approfondies. Sans aucun guide, poussé uniquement par son désir

d'apprendre, il suivit avec ardeur le mouvement scientifique et industriel de l'époque, tout en continuant l'industrie paternelle.

C'est ainsi qu'en 1875, l'électricité, alors à ses débuts, l'attire invinciblement. Il imagine sa première lampe électrique, basée sur un principe hydrostatique et qu'il essaie au Conservatoire des Arts et Métiers, avec le bienveillant appui de M. Edmond Becquerel.

Émile Reynier prend alors le parti de se consacrer entierement à cette branche si séduisante de la science.

Depuis 1875, ses inventions et ses travaux se succèdent alors sans repos ni trêve. Ils sont trop connus de notre Société, à laquelle il apportait souvent la primeur de ses recherches, pour que nous les examinions en détail; nous nous contenterons de faire une énumération rapide de ses principales découvertes.

Dès 1875, il imagine la métallisation des charbons des lampes à arc ; en 1878, il invente cette lampe à incandescence à air libre qui fit sensation et fut servilement copiée, comme on sait, par certains industriels exotiques sans scrupules. C'est à cette époque que nous connûmes Reynier : nous fûmes immédiatement enthousiasmé par son feu sacré, sa haute intelligence et les qualités de son cœur, qui en faisaient le plus affectueux et le plus dévoué des amis.

En 1880, il trouve une pile primaire énergique et constante à liquide alcalin régénérable, et commence à se livrer avec ardeur à l'étude et au perfectionnement des piles secondaires, ou accumulateurs qui venaient d'être récemment découvertes par Planté. Jusqu'en 1880, les inventions de Reynier ont été nombreuses et variées, quoique se rapportant toujours à la science électrique. Pendant cette période, on lui doit : une étude sur la mesure des forces électro-motrices maxima et minima dans les couples à un seul électrolyte; sur les piles étalons appliquées à la mesure des forces électro-motrices ; sur les piles à deux électrolytes, le rôle et les conditions du cloisonnement par baudruche, vase poreux ou papier parcheminé;—l'application de ce dernier avait d'ailleurs été provoquée par lui-même : — sur l'attaque locale des zincs en circuit ouvert ; sur le travail des piles Leclanché en service en 1883 dans l'installation de la Société générale des Téléphones, et l'évaluation de la consommation de zinc dans ces appareils ; sur l'entretien et le rôle des piles dans ce même réseau ; sur la détermination des équivalents électro-chimiques, bases des calculs relatifs

aux analyses ou aux synthèses opérées par l'électricité ; sur le prix du travail fourni par les piles hydro-électriques, etc., etc.

A partir de 1880, il se consacre exclusivement aux accumulateurs, et c'est beaucoup à lui que l'on doit le développement pris par ces appareils dans ces dernières années. Il en donna d'ailleurs une nouvelle théorie chimique et fit tous ses efforts pour en propager l'emploi, persuadé que les accumulateurs étaient le complément indispensable de toute installation permanente d'éclairage. On est convaincu aujourd'hui de cette vérité et on l'a mise en pratique dans plusieurs secteurs parisiens. Mais elle paraissait moins évidente au début et tout le monde se rappelle l'hostilité qui lui fut témoignée par les autorités de Nantua quand il voulut en faire une application industrielle dans le département de l'Ain.

En 1882 il publie une étude très approfondie de tous les types d'accumulateurs et un commentaire technique très précis sur l'éclairage électrique par accumulateurs du théâtre des Variétés.

Sur ce sujet spécial des accumulateurs il fit à notre Société une communication magistrale en 1884. On lui doit encore les travaux suivants : le remplacement du plomb dans les accumulateurs ; les variations de force électro-motrice, leur cause, leur évaluation ; un accumulateur spécial inventé par lui, type cuivre et zinc, avec sa théorie chimique ; l'application des accumulateurs à l'éclairage (1884) et à la traction des tramways ; l'évaluation du prix de revient correspondant ; leur application à la propulsion des torpilles. Il perfectionnait, d'ailleurs, constamment les accumulateurs ; en outre de ses inventions personnelles, on lui doit encore en collaboration avec MM. Faure et Simmen des types de couples secondaires très remarqués. Il imagina encore les voltamètres régulateurs zinc-plomb destinés à régulariser les courants des dynamos dans les installations d'éclairage.

Sa fécondité était extraordinaire dans toutes les branches. Ainsi on lui doit de très nombreux articles dans les journaux techniques comme la *Nature*, la *Lumière électrique*, l'*Électricien*, etc., et ce qu'il produisait était toujours original, ne sentant jamais la compilation. Il fit de nombreuses communications à l'Académie des sciences et à la Société de physique. Au dernier Congrès international d'électricité de 1889, il se fit remarquer par une étude des plus intéressantes sur l'activité et le travail des couples voltaïques.

En dehors de tout cela on lui doit les ouvrages suivants :

Piles électriques et accumulateurs, recherches techniques.

La traction électrique par accumulateurs appliquée aux tramways de Paris.

Traité élémentaire de l'accumulateur voltaïque.

Les voltamètres régulateurs zinc-plomb.

Il imagina plusieurs types spéciaux d'accumulateurs. Son type à plaque plissée eut une réelle vogue dans le monde spécial. Enfin, tout récemment nous avions assisté dans l'usine Durafort, **162**, boulevard Voltaire, à des expériences fort intéressantes et très concluantes sur un nouvel accumulateur élastique destiné surtout à la marine. De l'avis de toutes les personnes compétentes, ce dernier réalisait un sérieux progrès sur tout ce qui s'était fait jusqu'à ce jour et Reynier en aurait certainement retiré les avantages qu'il était en droit d'en attendre, si la mort, cette inepte et aveugle faucheuse, n'était pas venue l'enlever subitement au moment où il allait récolter les fruits de vingt années de labeur assidu.

En dehors du savant et de l'homme technique, on nous permettra de dire quelques mots de l'homme privé. Aussi bien la tâche est facile : on vit rarement physionomie à la fois plus fine, plus sympathique que celle de Reynier. C'était, de plus, une nature droite, honnête, patriote, un homme de cœur et d'honneur dans la plus complète acception du mot. D'une douceur et d'une affabilité absolument proverbiales, il devenait intraitable envers tout ce qui n'était pas irréprochablement droit ou correct; d'une courtoisie à toute épreuve, il n'en était pas moins d'une fierté et d'une indépendance de caractère qui lui firent certainement bien du tort en ces temps de courtisanerie à outrance et de compromissions de toutes sortes. On peut aisément affirmer que ce tempérament d'un autre âge le retarda d'au moins dix ans dans sa carrière et ce n'est qu'à force de travail et de mérite qu'il réussit à enlever le succès, non sans avoir eu l'honneur de susciter bien des haines et des jalousies parmi le nombreux monde des médiocrités protégées qu'on rencontre partout. En revanche ses belles qualités lui avaient fait un grand nombre d'excellents amis sur lesquels il savait pouvoir compter et qui le consolaient en l'encourageant.

C'était en résumé une belle figure sous tous les rapports et ce n'est pas sans une douloureuse et profonde émotion que nous disons adieu à cet honnête homme incorruptible, doublé d'un travailleur infatigable, à ce pauvre et cet excellent ami enlevé si brusquement au moment où il venait d'entrer définitivement et de plain-pied dans la voie du succès.

CHRONIQUE

N° 135.

Sommaire. — Le système décimal en Angleterre, *suite et fin*. — Les derniers jours de la machine à vapeur. — La circulation à Londres et à New-York. — Histoire du thermomètre. — Le halage à vapeur sur les canaux.

Le système décimal en Angleterre *(suite et fin)*. — Quelque nécessaire que soit la transformation décimale des monnaies anglaises, son utilité est presque insignifiante relativement à celle du système actuel des poids et mesures. On dit que l'Anglais est un peuple pratique; il est difficile alors de comprendre comment il a pu se soumettre jusqu'ici à la gêne imposée par l'emploi des poids et mesures dont il est obligé de se servir. Un rapport d'une commission parlementaire déposé en 1862 contient l'exposé ci-après : « Pour les mesures de longueur, nous avons les pouce, pied et yard ordinaires ; de plus, pour les étoffes, le yard, le *nail* et l'*ell*. Il y a quatre sortes différentes d'*ells*. Dans la marine on emploie la brasse, le nœud, la lieue marine et le mille géographique qui n'est pas le mille ordinaire.... Nous avons encore le mille d'Ecosse et le mille d'Irlande. Il y a plusieurs sortes d'acres dans le Royaume-Uni et il y a une grande variété de perches. Chaque genre de commerce a, pour ainsi dire, ses mesures spéciales... Comme mesures de capacité, nous possédons vingt boisseaux différents; en revanche, il est souvent impossible de définir la valeur de la mesure dite *hogshead*. Elle est de 54 gallons pour la bière et de 83 pour le vin. Même pour le vin la pipe n'est pas la même ; elle varie suivant la nature des vins et il y en a presque autant que de sortes de vins. — Pour le poids, il y a dix valeurs différentes du *stone* — Un quintal vaut 100 livres, ou 112 livres ou encore 120 livres.

L'acte des poids et mesures de 1878 rend obligatoire le boisseau de 8 gallons, chaque gallon valant 10 livres d'eau distillée à la température de 62 degrés Fahrenheit (16 centigrades). Mais cela n'a nullement empêché l'usage des boisseaux de différentes valeurs. Le secrétaire de l'Association commerciale du Nottinghamshire et du Midland faisait observer récemment que en Cornouailles le boisseau de pommes de terre vaut 224 livres et 84 seulement à Nottingham. Un *peck* vaut 16 livres pour les pommes, 20 pour les pommes de terre et 18 pour les poires.

Le commerce du fer, du ciment, du savon, du sel, du charbon, du sucre, etc, emploie le système *avoir-du-pois*, composé de tonnes, quintaux, quarters, livres et onces de 437 1/2 grains. Un marchand en gros de drogues qu'il revend en détail à des pharmaciens achète ses marchandises à la livre avoir-du-pois et les revend à la livre *troy* composée de 12 onces de 480 grains. On a donc d'une part la livre avoir-du-pois de 7 000 grains et de l'autre la livre troy de 5 760 grains avec cette anomalie bizarre que la livre avoir-du-pois pèse plus que l'autre, tandis que l'once avoir-du-pois est plus léger que l'once troy. La livre troy divisée en onces, penny-weights et grains est le système adopté par la Monnaie, mais le commerce des métaux précieux se sert de l'once troy divisé en 1 000 parties.

On pourrait citer un nombre presque infini de bizarreries analogues. Ce qui précède suffit pour démontrer que le système actuel des poids et mesures de la Grande-Bretagne n'est qu'un tissu incohérent de valeurs sans relation les unes avec les autres dont l'emploi amène des difficultés de tout genre et des pertes de temps énormes. Si ce pays était absolument isolé et sans communication avec les autres contrées, le mal dont nous parlons pourrait être considéré comme un désordre interne. Mais les conséquences en sont beaucoup plus graves.

A une époque antérieure, le commerce et l'industrie de l'Angleterre avaient sur les marchés étrangers une prédominance qui pouvait jusqu'à un certain point leur permettre de faire la loi et d'imposer à leurs clients l'obligation de se servir, pour les transactions avec l'Angleterre, des poids et mesures britanniques. Mais ces beaux jours sont passés. Depuis vingt ans surtout, les diverses contrées de l'Europe ont énormément développé leurs moyens de production ; la concurrence est devenue très active. Les consuls de la Grande-Bretagne ont dû, à diverses reprises, appeler l'attention sur l'infériorité que donne à la production anglaise la difficulté qu'a le commerce étranger à comprendre le système compliqué des monnaies, poids et mesures britanniques. On peut citer comme exemple le rapport n° 180 du *Foreign Office* en date du 1er août 1890, contenant le passage suivant au sujet du commerce avec l'Italie :

« Les efforts des représentants allemands pour développer leurs affaires » en Italie sont incessants, et comme ils cherchent toujours à être » agréables à leurs clients, ils réussissent généralement, au détriment » des maisons anglaises qui, au lieu de représentants, se bornent à » envoyer des catalogues lesquels ne servent à rien, étant écrits » en anglais avec les prix, les mesures et poids dans le système brita- » nique. »

Un correspondant de Buenos-Ayres écrivait qu'il avait été consulté par un expéditeur de grains pour savoir comment on vendait le blé en Angleterre. Après avoir consulté les documents donnant les différentes mesures usitées dans les différentes parties de la Grande-Bretagne, il a fini par envoyer son chargement à un port du continent, dans l'impossibilité de pouvoir se rendre compte de ce que la vente de la cargaison produirait en argent.

On peut citer comme exemple analogue l'expédition pour Freiberg, de préférence à Swansea, de chargements de minerais de la côte du Pacifique basée sur le besoin qu'avait l'expéditeur d'un compte qu'il pût comprendre. L'organe le plus important de l'industrie des mines, le *Engineering and Mining journal*, de New-York, conseille toujours l'expédition des minerais en Allemagne plutôt qu'en Angleterre.

M. W. Crawford, délégué de la Chambre de commerce anglaise à Paris, faisait partie d'une députation de banquiers, négociants, etc., reçue en 1887 par le chancelier de l'Échiquier, et disait qu'ayant habité Paris vingt-cinq ans et y ayant fait le commerce des articles anglais, il était bien au courant du côté pratique de la question et compétent pour attester la grande valeur d'un système purement décimal. Il était toujours obligé de réduire les mesures anglaises en mesures décimales pour pouvoir vendre ses marchandises.

Les manufacturiers anglais font de grands efforts pour perfectionner les mécanismes de leurs usines dans le but de réduire les prix de revient, mais ils semblent ne se préoccuper aucunement d'améliorer le mécanisme mental avec lequel ils formulent leurs prix et la désignation de leurs produits ; or, à l'époque de concurrence où nous vivons, cet élément ne peut plus être négligé.

Un autre commerçant anglais, très connu à Paris, M. Th. Pilter, constate les grandes difficultés qu'il éprouve lorqu'il vend des produits anglais. S'il a par exemple à vendre une quantité de marchandises emballées valant 13 livres à Londres et pesant brut 3 quintaux, 3 quarters et 8 livres et net 3 quintaux, 2 quarters et 24 livres, il doit d'abord convertir les 13 livres en francs et le poids brut en 245 *kg* pour le port, et le poids net en 188 *kg* pour les droits d'entrée.

Ces calculs prennent du temps et sont une cause d'erreurs, tandis que rien n'est plus simple avec le système décimal ; il suffit de poser :

Prix à Londres.	325,00 *f*
Port sur 245 *kg* à 5 *f* les 100 *kg*.	12,25
Droits sur 188 *kg* à 5 *f*.	9,40
Prix rendu.	346,65 *f*

En Europe, les producteurs anglais ont à lutter surtout avec la concurrence de la Belgique, de la France, de l'Allemagne et de l'Italie, tous pays où le système décimal est en vigueur, de même qu'il l'est dans presque tous les pays où il s'agit de trouver des débouchés. C'est une cause d'infériorité sérieuse pour le producteur anglais, qui se trouve forcément obligé, s'il veut réussir, de se mettre au courant du système métrique.

Un cas très fréquent est celui de la fourniture de locomobiles destinées à des usages agricoles dans des pays où le système métrique est en vigueur. Tous les éléments devront être exprimés en mesures métriques, la pression en kilogrammes, la surface de chauffe en mètres carrés, la consommation de combustible en kilos, la dépense d'eau en litres. De même pour les pompes et pour une infinité d'appareils.

S'agit-il d'un objet aussi modeste qu'un fourneau à gaz pour cuisine? la consommation devra être indiquée en fractions de mètre cube. On pourrait multiplier ces exemples à l'infini.

Or, le commerce de l'Angleterre avec les pays étrangers où le système métrique est employé est extrêmement important. D'après les tableaux annexés à la communication de M. Dowson, extraits des statistiques du *Board of Trade*, on trouve que, si on excepte les provenances des possessions anglaises, la valeur totale des importations a atteint, en 1889, 330 millions de livres sterling et celle de l'exportation 224, ce qui fait un mouvement total de 554 millions de livres sterling.

L'importation provenant des pays qui se servent du système métrique atteint les 57 centièmes du chiffre des importations et l'exportation à destination des mêmes pays 71 0/0. Le mouvement total avec ces pays est de 348 millions de livres sterling, ou 62 1/2 0/0 du mouvement total. Le chiffre réel est encore supérieur, parce que dans les statistiques

du *Board of Trade* ne figurent pas certains pays tels que la Bolivie, la Serbie, la Bulgarie, la Suisse, pays dont la population collective est de 10 1/2 millions d'habitants. On peut donc apprécier, par les chiffres qui précèdent, l'importance de la considération qui vient d'être exposée.

En fait, 60 0/0 au moins du commerce de la Grande-Bretagne se fait avec des pays qui emploient exclusivement le système métrique; l'Inde se prépare à l'adopter, et il est probable que dans un avenir très rapproché le reste du monde civilisé en fera autant, que l'Angleterre s'y joigne ou qu'elle ne s'y joigne pas. L'auteur se croit donc justifié en disant que cette dernière se ferait, à ce seul point de vue, le plus grand tort en restant isolée du reste de l'univers par son système suranné de poids et mesures.

Le système métrique est exclusivement employé par les savants de tous les pays; il est usité dans l'enseignement de la physique, de la chimie, etc., dans presque tous les ouvrages scientifiques. Il est nécessaire dans l'industrie chimique, ne serait-ce que pour se tenir au courant de ce qui se fait sur le continent. De même pour la métallurgie. Les électriciens du monde entier ont adopté un système de mesures électriques basé sur le système métrique; les fils télégraphiques et téléphoniques sont maintenant jaugés en millimètres et fractions. Dans la fabrication des pièces d'artillerie, des instruments d'optique, des appareils de précision, en fait, partout où on a besoin d'une exécution poussée aux dernières limites de l'exactitude, on est obligé de se servir du système métrique. Il n'est pas jusqu'aux photographes qui voient aujourd'hui leurs préparations formulées en litres, grammes, etc.

On a présenté à diverses reprises des solutions plus ou moins ingénieuses pour décimaliser les mesures anglaises; il en résulterait évidemment un certain avantage, mais l'auteur croit, comme le Comité de 1862, qu'il y aurait presque autant de difficultés à faire adopter un système décimal particulier qu'à prendre le système métrique, auquel il est probable qu'il faudrait toujours revenir dans un avenir peu éloigné.

L'auteur termine en faisant justice de quelques-unes des objections favorites des adversaires du système métrique, par exemple l'inexactitude, tant de fois alléguée, du mètre, laquelle n'a aucune importance pratique du moment où il existe presque partout, et même au *Board of Trade*, une collection complète d'étalons métriques d'une extrême précision.

La difficulté de l'adoption d'un nouveau système a été très exagérée. On a cité déjà divers exemples de la rapidité avec laquelle les populations se prêtent à ce changement. On peut ajouter celui très remarquable de l'Allemagne, où, après la guerre de 1870, le système métrique a été adopté et où le changement s'est effectué en quatre années.

On a également exagéré la difficulté de l'introduction dans la langue anglaise des noms grecs et latins qui figurent dans le système métrique. On n'a pas manqué de recourir à l'argument facile du ridicule. Feu M. Beresford Hope, combattant le système métrique à la Chambre des communes, s'apitoyait sur l'embarras d'une bonne femme obligée de demander à l'épicier un décigramme de poivre et un décagramme de thé. Il est plus facile de plaisanter que de discuter sérieusement.

On pourrait, dans une certaine mesure, conserver certains mots familiers de l'anglais pour les nouvelles valeurs. Mais l'utilité en est très contestable. Les Hollandais avaient essayé ce système, et il a amené tant de confusions qu'on est revenu à l'emploi des noms français.

Dans la discussion qui a suivi cette communication, tous les orateurs qui ont pris la parole se sont ralliés à l'opinion de M. Emerson Dowson, à l'exception unique de M. A. Carpmael, qui est d'avis que les arguments de l'auteur prêchent plus en faveur de l'uniformité que du système métrique lui-même. Il ne pense pas que la simple adoption de ce dernier suffirait à lever toutes les difficultés commerciales qui ont été signalées et peut-être exagérées dans la communication. On y a cité un rapport consulaire insistant sur la gêne qu'apportent dans les transactions avec certains pays l'emploi de la langue, des monnaies et des mesures anglaises. Pour être logique il faudrait, après le système des monnaies et des mesures, faire aussi le sacrifice de la langue. Tout ce qu'on peut dire en faveur du système décimal n'empêche pas que 10 n'est divisible que par 5 et par 2, alors que 12 l'est par 6, 4, 3 et 2. Comme l'a dit Sir Frederick Bramwell, les divisions décimales ne disent rien à l'esprit; on comprend ce qu'est le sixième d'une quantité, mais qui peut apprécier clairement la fraction 0,166? L'orateur termine en signalant la facilité avec laquelle le système décimal permet de commettre de grosses erreurs par le simple déplacement des virgules. Dans nombre d'ouvrages scientifiques on trouve des indications erronées de ce genre qui, si le bon sens du lecteur ne suffit pas à les faire découvrir, peuvent avoir des conséquences très fâcheuses.

Il est facile de répondre que la même cause d'erreur existe dans la numération décimale, où l'addition ou l'omission d'un chiffre ou d'un zéro amène des erreurs du même genre, et que cela n'empêche pas la numération décimale d'être employée partout. Quoi qu'il en soit, l'approbation pour ainsi dire unanime qui a accueilli la communication de M. Emerson Dowson, dans un milieu aussi élevé que la Société des Arts, doit être considérée comme un symptôme des plus importants en faveur d'une solution prochaine de cette grande question.

Les derniers jours de la machine à vapeur. — Notre savant collègue le professeur Thurston a publié sous ce titre, dans le *North American Review*, une étude dont il nous paru intéressant de résumer les principaux points. Il est à remarquer que la publication qui le renferme et qui nous a été communiquée par M. Raffard, est une revue qui n'a aucun caractère technique et que le caractère du public auquel il s'adressait a obligé M. Thurston à n'employer que des arguments pouvant être compris facilement de tous ses lecteurs.

A la réunion à York de l'Association britanique en 1881, Sir Frederick Bramwell prédisait, qu'à moins que quelque changement radical ne se produisit en elle, la machine à vapeur voyait ses derniers jours, au moins pour les petites forces, et que cinquante ans ne s'écouleraient pas sans que ce merveilleux serviteur de l'humanité se vit relégué dans les musées et conservatoires à titre d'objet d'un intérêt purement historique. Sept années plus tard, à Bath, le même éminent ingénieur signalait son

élection à la présidence de l'Association en développant la même thèse.

La supposition de voir la machine à vapeur jouir de son reste, selon une expresion vulgaire mais frappante, peut être appréciée plus facilement par l'examen des progrès successifs qu'a faits ce moteur depuis son origine et en comparant ces progrès avec ceux de celui qu'on lui donne dès à présent pour successeur, le moteur à gaz.

Il n'est pas inutile de poser d'abord les conditions que doit remplir un moteur thermique pour être capable d'un service industriel. Ces conditions sont : 1° la production dans le cylindre travaillant d'une pression assez élevée pour que la résistance propre de la machine soit une fraction assez faible du travail total ; 2° que le fluide moteur puisse se détendre sans que la pression s'annihile trop vite, et 3° que le moteur puisse convertir en travail le plus possible de l'énergie contenue dans le calorique et que, par conséquent, le travail puisse être obtenu avec une dépense minima de combustible.

Mais en dehors de ces conditions de principe, il en est d'autres non moins importantes au point de vue pratique. Le moteur doit être simple, susceptible de durée, d'un fonctionnement sûr. Pour certaines applications surtout, il doit être compact, léger et peu coûteux.

Le véritable inventeur de la machine à vapeur semble avoir été Newcommen. C'est lui qui a transformé l'appareil grossier, dangereux et dispendieux de Savery et de ses prédécesseurs, en un moteur industriel d'un usage sûr et même économique pour l'époque. Watt trouva la machine de Newcommen en usage régulier et déjà notablement perfectionnée par Smeaton dont le rôle dans le développement de la machine à vapeur a été beaucoup plus important qu'on ne le croit généralement, Watt prit cette machine pour point de départ et, par l'addition de l'enveloppe, du condenseur séparé, d'une meilleure distribution et de divers autres perfectionnements, en fit la machine à vapeur moderne. Le but des deux premières additions était, selon les propres expressions de Watt, de maintenir le cylindre aussi chaud que la vapeur qui y entrait. Les vieilles machines dépensaient énormement de vapeur. Dans ces appareils, le fluide moteur était introduit sous le piston pour faire équilibre à la pression atmosphérique, puis ensuite créer un vide par sa condensation pour laisser redescendre le piston sous l'action de la pression atmosphérique. La condensation s'effectuait dans le cylindre lui-même par l'injection d'eau froide au milieu de la vapeur. Il en résultait que les parois du cylindre se refroidissaient aussi et qu'au coup suivant, lorsque la vapeur était introduite de nouveau dans le cylindre, elle devait d'abord réchauffer les parois de celui-ci à sa propre température, en consommant pour cela un poids de vapeur qui autrement aurait servi à la mise en mouvement du piston.

Watt constata tout d'abord l'existence de cette cause de perte et s'attacha à l'atténuer ; depuis son époque les perfectionnements les plus importants de la machine à vapeur ont porté sur les moyens de réduire encore ce genre de fuite par lequel le calorique s'échappe en pure perte.

La machine de Watt, telle qu'elle était au commencement du siècle, constituait un engin lent, encombrant, lourd, dépensier et de puissance relativement faible, si on le compare à la machine à vapeur de nos jours

dans ses multiples applications aux usines, à la navigation, aux chemins de fer, etc.

Ce qui n'empêche pas que Belidor avait raison d'en dire : « Voilà la plus merveilleuse de toutes les machines ; le mécanisme ressemble à celui des animaux. La chaleur est le principe de son mouvement ; il se fait dans ses différents tuyaux une circulation comme celle du sang dans les veines, ayant des valvules qui s'ouvrent et se ferment à propos : elle se nourrit, s'évacue d'elle-même dans des temps réglés et tire de son travail tout ce qu'il lui faut pour subsister. »

Le principe moteur des machines thermiques est la chaleur du soleil emmagasinée dans les combustibles fossiles provenant des forêts qui couvraient le globe à une période primitive. Pendant cette période notre globe était entouré d'une atmosphère chaude, humide, riche en acide carbonique. Le sol était lui-même maintenu à une température assez élevée, tant par la chaleur provenant de l'intérieur que par l'échauffement solaire facilité par la nature même de cette atmosphère. Dans ces conditions, la végétation se développait avec une vivacité dont ce que nous voyons encore aujourd'hui dans les régions tropicales ne peut donner qu'une faible idée.

Des révolutions ultérieures amenèrent la destruction de ces quantités de plantes et d'arbres et, en éliminant les éléments gazeux, les transformèrent en ces couches de combustibles fossiles qui sont aujourd'hui l'élément essentiel de la vie humaine et de la civilisation, en même temps que la décomposition partielle des innombrables restes d'animaux existant sur le globe produisait le pétrole et les volumes inimaginables de gaz comprimés qui sont aujourd'hui employés au chauffage et à l'éclairage dans certaines parties des États-Unis.

Ces combustibles fossiles proviennent donc, en réalité, de la chaleur solaire emmagasinée pendant des millions peut-être d'années au profit ultérieur de l'humanité. Chaque kilogramme de ce combustible (houille) renferme en nombre rond et en moyenne 7 500 calories reçues du soleil et pouvant restituer leur équivalent en travail mécanique. Un cheval-vapeur exigeant théoriquement 635 calories par heure, il en résulte qu'un kilogramme de charbon peut fournir environ 12 chevaux pendant une heure, et une tonne 12 000 chevaux.

La superficie collective des gisements houillers de la terre peut être estimée à un million de kilomètres carrés dont les trois quarts dans les États-Unis et un quarantième seulement dans la Grande-Bretagne. Si on prend pour point de comparaison les houillères anglaises qu'on estime contenir 200 milliards de tonnes de combustibles minéraux, on peut juger que les houillères des États-Unis contiendraient 4 millions de millions de tonnes, et le monde entier 6 millions de millions.

Au taux actuel de la consommation, soit 500 millions de tonnes par an, on pourrait compter sur 12 000 ans. Cette consommation représente 15 milliards de chevaux-vapeur pour le monde entier.

Il est très heureux que les approvisionnements mis ainsi en réserve par la nature atteignent des chiffres aussi formidables, car la consommation des combustibles employés pour les besoins de l'humanité se fait avec un gaspillage excessif. On peut, sans parler des moteurs

thermiques, citer quantité d'appareils de chauffage où les trois quarts et peut-être les quatre cinquièmes du calorique sont jetés dans l'atmosphère en pure perte. Tous les progrès effectués dans le sens d'une réduction des pertes, quelque faible qu'elle soit, doivent être considérés comme devant prolonger la période pendant laquelle le genre humain pourra profiter des réserves de calorique enfouies dans le sous-sol de notre globe.

Néanmoins, la science nous apprend que, si nous conservons les méthodes connues jusqu'ici d'utilisation du calorique pour la production de la force motrice, cette transformation entraine inévitablement une perte importante de chaleur et nous sommes forcés de conclure que les moteurs actuels doivent être améliorés dans une mesure qui ne semble guère réalisable dans l'état actuel de nos connaissances, ou qu'il faudra en arriver à un autre mode de transformation qui permette d'éviter la perte énorme que nous subissons actuellement, en convertissant l'énergie contenue dans le combustible en une autre forme d'énergie, peut-être en électricité.

Certains indices permettent de croire que ce dernier problème pourra peut-être recevoir sa solution dans un avenir plus ou moins prochain, mais jusque-là nous devrons continuer à nous adresser aux machines thermiques pour obtenir la force motrice de l'énergie accumulée dans les combustibles fossiles, houilles, pétroles, gaz naturel. Cette énergie doit être d'abord transformée par des réactions chimiques qui produisent la combustion, et le calorique développé par cette opération doit lui-même être transformé en travail.

Les machines thermiques sont les engins qui servent à cette dernière transformation et toutes, que ce soient des machines à vapeur, des machines à air chaud, des moteurs à gaz, ont un certain nombre de points essentiels communs. Dans toutes, le calorique développé par la combustion est transformé en travail par l'entremise d'un fluide travaillant qui éprouve des changements de pression et de volume. Dans toutes, une masse de vapeur, de gaz, ou des deux mélangés, absorbe une certaine quantité de calorique et éprouve des changements de volume ou de pression qui, par l'excès de pression du fluide par rapport à l'atmosphère ou une autre portion plus raréfiée du même fluide, déterminent le déplacement d'un piston, au retour duquel la partie devenue inutile du fluide est expulsée avec le calorique qu'elle contient. Le déplacement du piston transformé par une série plus ou moins compliquée d'organes mécaniques produit presque universellement la rotation continue d'un arbre, laquelle est utilisée pour les usages industriels. *(A suivre.)*

La circulation à Londres et à New-York. — Voici un exemple frappant de l'influence de l'amélioration des moyens de transport sur la circulation dans les villes. En 1864, les divers services de transport à Londres ont transporté 53 millions de voyageurs, ce qui fait que chaque habitant a circulé dix-huit fois. Dix ans plus tard, en 1874, les moyens de circulation avaient déjà été notablement améliorés, ils ont transporté 155 millions de voyageurs ; chaque habitant a circulé quarante-cinq fois. En 1884, après l'établissement des lignes de tram-

ways, le nombre des voyageurs transportés s'est élevé à 308 millions, de sorte que chaque habitant a circulé soixante-dix-sept fois.

En vingt ans on trouve donc un accroissement de 36 0/0 pour la population, de 500 0/0 pour le nombre des voyageurs transportés et de 330 0/0 pour la circulation individuelle. Ce dernier rapport n'est qu'approximatif, parce qu'on ne connaît pas le chiffre de la population de Londres en 1884. Il était de 4 149 533 au recensement de 1886 et de 4 421 661 à celui du 27 septembre 1890.

On ne trouve pas la même progression en ce qui concerne la circulation à New-York. Ainsi, en 1884, le nombre total de voyageurs qui ont employé les divers moyens de transport a été de 272 millions, ce qui, avec une population de 1 300 000 habitants en nombre rond, fait deux cent dix déplacements par habitant. En 1889, la circulation s'est élevée à 397 millions pour une population de 1 700 000 habitants, ce qui fait deux cent trente-trois déplacements par habitant. L'augmentation est par conséquent peu importante, dans le rapport de 100 à 111. Ce fait doit être attribué au peu de commodité qu'offrent la plupart des moyens de transport à New-York. Dans un rapport récent sur le transport rapide souterrain, M. Auguste Corbin estime que le nombre des voyageurs transportés atteindrait facilement le double avec de sérieuses améliorations dont tous ceux qui ont utilisé ces moyens de transport peuvent apprécier la nécessité.

Histoire du thermomètre. — L'invention du thermomètre paraît devoir être attribuée au célèbre Van-Helmont, qui construisit un appareil formé d'une boule creuse soudée à un tube et rempli de liquide pour démontrer, dit-il, que le liquide monte ou descend dans le tube suivant la température du milieu ambiant. C'était un simple appareil de démonstration. Dans le XVII^e^ siècle, divers savants, Galilée, Bacon, Scarpi, Borelli et autres firent des recherches dans le même sens, mais sans grands résultats.

Ce ne fut qu'en 1621 que Cornélius Van-Drebbel, physicien hollandais, construisit un thermomètre formé d'un tube fermé par un bout; ce tube contenant de l'air était immergé par le bout ouvert dans une fiole contenant de l'acide nitrique étendu d'eau. La dilatation ou la contraction de l'air, déterminées par les variations de la température, se faisaient sentir sur le niveau du liquide dans le tube. Cet instrument, appelé par son auteur « Calendare vitrium », verre indicateur, constituait un véritable thermomètre à air, mais faute de graduation, ses indications étaient arbitraires et non susceptibles de comparaison.

Vers 1650, les membres de l'Académie *del Cimento*, à Florence, apportèrent au thermomètre tel qu'il existait alors des perfectionnements qui lui donnèrent la disposition actuelle, basée sur le principe de la dilatation d'un liquide, qui fut d'abord de l'alcool coloré. Restait la question de la graduation au sujet de laquelle rien de décisif ne survint jusqu'à la fin du XVII^e^ siècle, où le physicien Renaldini, de Pise, professeur à Padoue, proposa de prendre pour point fixe inférieur la position du niveau du liquide correspondant à la congélation de l'eau et pour point

supérieur celui qui correspondait à la fusion du beurre, l'intervalle des deux points étant divisé en parties égales.

De cette époque date le thermomètre actuel.

Le premier instrument de ce genre a été construit par Newton en 1701 pour donner des indications comparatives. Newton employait de l'huile de lin, qui n'entre en ébullition qu'à une température beaucoup plus élevée que l'alcool. Il prit pour point supérieur la température moyenne du corps humain et pour point inférieur la température de congélation de l'huile de lin.

Toutefois, on ne tarda pas à abandonner l'emploi de ce liquide peu dilatable pour revenir à celui de l'alcool, et, en 1714, Gabriel Fahrenheit, de Dantzig, construisit le thermomètre qui porte son nom et dans lequel l'ébullition de l'eau correspond à 212 et la fusion de la glace à 32, l'intervalle étant divisé en 180 parties. Le zéro correspondrait donc à — 17,8° centigrades. Cette température avait été obtenue par Fahrenheit au moyen d'un mélange réfrigérant et il l'avait prise pour zéro croyant que c'était la température la plus basse qui pût se rencontrer. La graduation de Fahrenheit est encore aujourd'hui en usage en Angleterre et dans quelques autres pays.

En 1730, Réaumur proposa la division en 80° de l'intervalle entre le point d'ébullition de l'eau et le point de fusion de la glace pris pour zéro, et enfin, en 1741, Celsius, professeur à Upsal, divisa le même intervalle en 100°, ce qui constitua le thermomètre centigrade, de beaucoup le plus employé de nos jours. Une partie des renseignements qui précèdent sont extraits de l'*Iron*.

Halage à vapeur sur les canaux. — Dans un précédent article (voir Chronique de février 1891, page 171), nous avons indiqué que le gouvernement des États-Unis avait commandé à la maison Porter, de Pittsburg, des locomotives du type Forney destinées à haler les bateaux sur le canal de Muscle Shoals, dans l'Alabama.

Voici quelques renseignements sur ces machines. La voie est à l'écartement de 1,22 *m*. Les machines portent sur quatre essieux, deux accouplés compris entre les deux essieux porteurs. Le poids en service est de 16 300 *kg*, dont 11 300 sur les roues accouplées. La surface de grille est est de 0,76 m^2; le corps cylindrique, de 0,888 *m* de diamètre, contient 63 tubes en fer de 50 *mm* de diamètre et de 2,440 de longueur. Les cylindres ont 0,253 de diamètre et 0,406 de course. Les roues motrices, 0,914, et les roues de support, 0,506 de diamètre. L'écartement des essieux accouplés, base rigide, est de 1,600, et l'écartement total, de 4,575. La caisse à eau placée à l'arrière contient 2 000 *l* d'eau, et la machine peut porter une tonne de charbon ou trois quarts de corde de bois. De chaque côté sont disposés deux forts crochets pour attacher les remorques. Nous avons vu qu'en Allemagne on avait reconnu qu'il était préférable de fixer les cordes de halage au centre d'un wagonnet attelé à la locomotive, mais il parait qu'en Amérique on a trouvé gênant l'emploi de cette addition et qu'on en est revenu à attacher les remorques directement à la locomotive. La distance sur laquelle s'opère le halage est de 24 *km*.

COMPTES RENDUS

SOCIÉTÉ D'ENCOURAGEMENT POUR L'INDUSTRIE NATIONALE

Février 1891

Rapport de M. Davanne sur la **photographie sans objectifs** de M. Meheux et de M. Colson.

Dans la chambre noire primitive de Della-Porta il y avait un simple trou percé dans un volet, et l'image renversée des objets faisant face à ce volet se dessinait sur le plan opposé. La difficulté est d'obtenir une image à la fois nette et lumineuse. M. Meheux eut le premier l'idée de revenir à cette chambre primitive pour la photographie, ce qui a l'avantage de permettre d'embrasser avec un faible recul un champ considérable et de reproduire sans déformation des monuments très élevés. Pour réussir, il faut que le trou soit percé dans une plaque de métal d'une forme très largement conique et terminé par une ouverture percée avec une aiguille fine. Le temps de pose est un peu plus long qu'avec un objectif; cependant, avec une ouverture de trois dixièmes de millimètre, un écart de 0,85 *m*, la pose n'excède pas dix secondes pour une vue de paysage au soleil.

Rapport de M. Davanne sur la **photographie en ballon**, de M. Gaston Tissandier.

Les premiers essais de photographie en ballon sont dus à M. Nadar père, qui obtint dès 1859 une épreuve prise dans un ballon captif, mais ce ne fut que dix ans plus tard qu'il fit, du ballon Giffard, des vues assez nettes des diverses parties de Paris.

M. Laussedat avait, dès 1859, proposé d'appliquer la photographie au levé des plans et combiné un appareil permettant d'arriver à ce résultat.

La photographie en ballon captif fut employée en Amérique pendant la guerre de sécession.

M. Triboulet fut le premier qui, en 1879, fit des épreuves dans un ballon absolument libre. Les résultats de cette tentative furent annulés par une circonstance plaisante, le zèle des employés de l'octroi qui tinrent à visiter à la rentrée de l'aéronaute dans Paris les objets apportés par lui, y compris les châssis renfermant les clichés, et amenèrent ainsi la perte des préparatifs coûteux, des dangers courus, de l'énergie et du savoir dépensés.

Depuis 1880, les essais de photographie aérostatique se succédèrent presque sans interruption. En 1885, MM. Gaston Tissandier et Ducom

obtinrent des plans parfaits de diverses parties de Paris pris à 600 *m* d'altitude. Un peu plus tard, M. G. Tissandier et M. Nadar fils obtinrent des vues du palais et du parc de Versailles et de Saint-Cloud prises à 800 *m* d'altitude.

Il est à peine besoin de signaler l'intérêt de ces applications au point de vue de l'art militaire. On peut encore indiquer les curieux essais, faits à Montmartre par M. Cassé, de très petits ballons captifs capables seulement d'enlever une légère chambre noire ; le déclenchement de l'obturateur est commandé par une simple mèche brûlant dans un espace de temps déterminé ; à la fin de la combustion, l'arrêt du ressort est supprimé, l'obturateur se détend, l'epreuve est faite et une petite banderole de papier, se détachant dans l'air, indique que l'opération est terminée et qu'on peut ramener le ballon à terre. Une conséquence naturelle de ce procédé a été l'emploi des cerfs-volants pour la photographie aérienne réalisé par M. Batut. On pourrait ainsi arriver à des applications fort intéressantes, telles, par exemple, que le levé de plan de points inaccessibles, etc.

Rapport de M. Davanne sur l'**obturateur** de MM. Londe et Dessoudeix.

On sait que la grande sensibilité des plaques au gélatino-bromure d'argent, qui permet de réduire le temps de pose à des centièmes et même à des millièmes de seconde, a rendu impossibles l'ouverture et la fermeture à la main des objectifs. Il a fallu créer des obturateurs mécaniques, dont il existe une très grande variété.

L'obturateur de MM. Londe et Dessoudeix permet de faire varier la vitesse selon les sujets à photographier et de passer facilement du maximum au minimum de rapidité. Le principe est l'emploi d'un ressort à boudin qui ramène l'obturateur et dont la tension peut être modifiée à volonté par une manette extérieure de manière à faire varier la rapidité de la fermeture.

Rapport de M. Davanne sur les **glaces et les papiers au gélatino-chlorure d'argent** de M. Tondeur.

M. Tondeur est le premier qui ait fait en France, d'une manière industrielle, la préparation des glaces et des papiers au gélatino-chlorure d'argent. La surface sensible, formée d'une émulsion de chlorure d'argent dans la gélatine une fois exposée à la lumière diffuse pendant quelques secondes, est plongée dans une solution d'oxalate de fer dans l'oxalate de potasse additionnée d'un peu de bromure soluble ; l'image apparaît avec une couleur qui varie du rose rouge au noir, suivant la concentration du bain et le temps du développement ; l'épreuve est ensuite lavée, fixée, lavée de nouveau et séchée comme à l'ordinaire.

Rapport de M. Hirsch sur l'**obturateur de vapeur** dit **à mouvement louvoyant**, de M. Raffard.

Dans les machines à vapeur, le régulateur agit souvent sur une valve qui éprouve des résistances irrégulières dont la conséquence est fâcheuse

pour l'invariabilité de la vitesse nécessaire dans certaines applications, notamment pour l'éclairage électrique.

Notre collègue, M. Raffard, a cherché à s'affranchir de ces résistances en donnant à l'obturateur sur lequel agit le régulateur la forme d'un tambour ou d'une lanterne démasquant des orifices, par lesquels la vapeur passe à la boite à tiroir. Cet organe se déplace suivant son axe; mais, pour que les résistances irrégulières dont il vient d'être question n'agissent pas sur lui, il reçoit en même temps, par une poulie et une corde sans fin, un mouvement de rotation autour de son axe, de sorte que tous les frottements se composant en couples sensiblement normaux à l'axe, l'appareil peut obéir aux plus petits efforts agissant suivant cet axe.

Rapport de M. Hirsch sur l'**utilité d'instituer des recherches sous les auspices de la Société.**

On a fait observer avec quelque apparence de raison que le rôle de la Société d'Encouragement, étant surtout de récompenser les travaux exécutés, est un peu trop passif, et qu'elle pourrait faire preuve peut-être de plus d'activité, en provoquant des recherches sur des questions intéressantes et incomplètement élucidées. Une Commission, nommée à cet effet et dont M. Hirsch est le rapporteur, considère que la Société peut, sans danger et avec profit, entrer dans cette voie et tenter l'expérience proposée, sous certaines réserves indiquées dans le rapport consistant, entre autres, à ce que les travaux à exécuter, dont le programme serait arrêté par le Comité compétent, seront faits sous la surveillance de délégués désignés par le Conseil, par une personne choisie par lui, laquelle conservera l'honneur du travail, de même que la responsabilité des résultats.

Les moteurs à gaz de grande puissance. Moteur simplex, par M. A. Witz.

Il s'agit du moteur Delamare-Debouteville et Malandin, construit par la maison Powell, de Rouen, dont la force nominale est de 100 chevaux indiqués pour un travail effectif d'environ 75 chevaux sur l'arbre.

Ce moteur, alimenté par un gazogène, produit un cheval effectif pour 3 524 calories, ce qui donnerait, d'après M. Witz, un rendement de 18 0/0, rendement qui n'a jamais été atteint par aucune machine à vapeur.

L'auteur en conclut que, dans bien des lieux et en bien des circonstances, le moteur à gaz fera concurrence à la machine à vapeur.

Utilisation des laitiers de déphosphoration en agriculture, par M. Campredon.

Vaseline, Pétroléine, par M. Riche.

École des Arts et Métiers de Montréal.

Lissage du papier et calandres chaudes. (Traduit du *Dingler's polytechnische Journal.)*

MARS 1891

Rapport de M. A. TRESCA sur les **pompes à piston captant de M. A. de Montrichard.**

La pompe de M. de Montrichard est fondée sur le principe suivant : un cylindre à section circulaire est traversé de part en part par une tige placée dans l'axe et passant à travers des presse-étoupes disposés dans les deux fonds du cylindre.

Si on coupe le cylindre par un plan oblique, ce plan détermine une section elliptique qui peut être prise pour l'une des faces extrêmes d'un piston d'une certaine épaisseur séparant le cylindre en deux chambres séparées. Si ce piston reçoit de sa tige un mouvement de rotation continu, ce mouvement pourra, si le cylindre est muni d'orifices servant à l'aspiration et au refoulement, déterminer le déplacement d'un fluide à la manière d'une pompe aspirante et foulante, mais sans emploi de soupapes. L'appareil peut former machine à vapeur par la pression du fluide sur les faces inclinées du piston, laquelle détermine la rotation de l'axe.

Le rendement de ces appareils est analogue à celui des pompes à piston ordinaires.

Rapport de M. ED. SIMON sur le **traité de tissage mécanique de M. Franz Reh.**

Notice biographique sur G.-A. Hirn, par M. HIRSCH.

Moulage méthodique du verre, par M. APPERT.

Fabrication des tubes sans soudure par le procédé Mannessmann, par M. G. RICHARD. (Voir Chronique d'août 1890, page 318.)

ANNALES DES PONTS ET CHAUSSÉES

JANVIER 1891

Rapport sur les **travaux du troisième Congrès international des chemins de fer** (1889), par M. WORMS DE ROMILLY, Ingénieur en chef des mines.

Ce rapport très volumineux résume l'exposé des diverses questions présentées au Congrès, la discussion qui a suivi cet exposé et les conclusions adoptées par l'assemblée.

SOCIÉTÉ DE L'INDUSTRIE MINERALE

RÉUNIONS DE SAINT ÉTIENNE

Séance du 3 janvier 1891

Briquet pneumatique Bourdoncle pour l'allumage des coups de mines, communication de M. TAUZIN.

Cet appareil est l'application du briquet pneumatique à l'allumage des coups de mines. Il se compose d'un cylindre, d'un piston et d'un porte-mèche.

Le premier a 0,010 *m* de diamètre, et 0,105 *m* de hauteur; la partie inférieure est élargie et fermée par le porte-mèche percé à la partie centrale d'un trou où l'on engage la mèche que retient une rondelle en caoutchouc qui assure l'étanchéité. Il suffit ensuite de donner un coup sec sur la tête du piston avec la paume de la main pour enflammer la mèche; on retire ensuite l'appareil.

Le briquet pneumatique est d'un emploi simple et facile et il présente le très sérieux avantage d'une grande sécurité. Avec lui, en effet, il n'y a jamais de feu à l'extérieur et il n'y a pas à craindre de voir fuser la mèche. On sait que celle-ci ne fuse jamais qu'au moment de son allumage, et à ce moment elle est dans l'appareil et non à l'air libre.

On a fait des expériences en lançant un jet de gaz d'éclairage sur la base de l'appareil au moment où on allumait le gaz et on n'est jamais parvenu à enflammer le gaz.

Ces expériences tendent à prouver l'innocuité de l'emploi de l'appareil dans les mines à grisou.

Ventilateurs. Au sujet du ventilateur Rateau, il est donné lecture d'une lettre de MM. Geneste et Herscher concernant les expériences de Cransac, et d'une note de M. Murgue en réponse à la communication faite par M. Rateau dans la séance précédente.

Le fer et l'acier dans la construction des chaudières. C'est le résumé d'une communication de M. V. Tahon, Ingénieur de la Société de Marcinelle et Couillet, à l'Association des Ingénieurs sortis de l'Ecole de Liège.

Les conclusions sont qu'avec quelques précautions relatives à la nature et à l'emploi du métal, on peut employer sans difficulté l'acier à la construction des chaudières. Cet emploi est devenu très courant aujourd'hui.

Les essais très complets faits par M. Cornut, Ingénieur en chef de l'Association des propriétaires de chaudières du nord de la France, ont fait ressortir l'égalité des charges de rupture et des allongements pour les deux sens de la tôle, alors qu'il est loin d'en être de même pour le fer, et la constance des résultats si on compare les *maxima* et les *minima* d'allongement et de résistance,

Plusieurs membres émettent des doutes sur la légitimité des conclusions tirées d'essais de résistance et pensent que la pratique seule permet de reconnaître si les tôles d'acier de bonne qualité donnent toute sécurité dans la construction des chaudières.

Séance du 7 février 1891.

Communication de M. COUFFINHAL sur les **machines à distributeur rotatif.**

MM. Bietrix et Cie ont adopté depuis quelques années un distributeur à mouvement continu de rotation, qui assure une grande simplicité à la distribution. Un seul robinet suffit pour deux et même pour un plus grand nombre de cylindres, et ce système qui donne une grande facilité pour la détente variable se prête très bien aux grandes vitesses et aux hautes pressions. Des machines fonctionnent avec ce système depuis six à sept ans.

Dromographe La Roulle. — Il a été question précédemment de cet appareil destiné à enregistrer la marche d'une machine. Il s'agit ici de quelques simplifications apportées depuis par l'inventeur, par lesquelles les vitesses ne sont plus figurées par des courbes qui peuvent se confondre avec les circonférences lorsqu'elles s'en rapprochent trop, mais par des lignes droites plus ou moins inclinées sur le rayon selon la vitesse.

Fermeture de lampe de sûreté, par M. DE LA ROULLE.

Le principe de ce système est que, la lampe une fois fermée par le lampiste et remise au mineur, toute tentative faite par celui-ci pour l'ouvrir met en jeu une sonnerie aussi forte et persistante que celle d'un réveille-matin.

Le matériel des mines à l'Exposition de 1889.

M. CLERMONT présente un résumé d'un mémoire publié dans la *Revue universelle des mines* par M. HABETS, professeur d'exploitation à l'Université de Liège. Cette partie est relative aux appareils de sondage et au fonçage des puits à grands diamètres.

Communication de M. VALLA sur **l'organisation mécanique du puits Armand** des mines de Valdonne (Bouches-du-Rhône).

L'extraction est opérée par une machine des ateliers Bietrix, calculée pour extraire 100 *t* à l'heure, de la profondeur de 350 *m*, à la vitesse de 14 *m*, et pour faire l'épuisement avec des cuves de 5 m^3 à la vitesse de 10 *m*. La machine est à deux cylindres accouplés, de 0,900 de diamètre et 1,600 de course, avec frein à vapeur et à contrepoids. Les bobines portent des câbles plats en acier de 32 *mm* d'épaisseur. Le puits est guidé en rails d'acier de 20 *kg* le mètre et les cages sont à deux étages, à quatre bennes par étage.

La distribution de la machine se fait par des tiroirs plans et la détente variable par un tiroir hélicoïdal Rieder. La détente est mise en marche

automatiquement à 25 *m* du commencement de la cordée et supprimée de même à 25 *m* de la fin. Le machiniste peut supprimer la détente en cas d'accident et peut de même la régler. L'introduction est habituellement de 50 0/0.

On va installer un condenseur indépendant pour condenser la vapeur de toutes les machines du carreau de la mine. Ce sera un condenseur à surface avec adjonction d'un réfrigérant d'eau. On obtiendra ainsi le bénéfice de la condensation avec faible volume d'eau, celui de l'alimentation à l'eau chaude et la suppression presque complète du nettoyage des chaudières.

Production du bassin houiller du Nord et du Pas-de-Calais en 1890.

La production de ces deux bassins a été de 14 309 652 *t* en 1890 contre 13 423 128 en 1889, soit une augmentation de 886 524 *t* ou 6,6 0/0.

Visite dans les ateliers de montage de MM. V. Bietrix et Cie.

On signale dans cette visite un compresseur d'air ayant pour organe de distribution un robinet à mouvement continu semblable à celui des machines à vapeur dont il a été question ci-dessus. Ce compresseur comprime l'air à 4 *kg*.

SOCIÉTÉ INDUSTRIELLE DE MULHOUSE

Bulletin de janvier 1891.

Rapport annuel présenté par M. F. Binder, secrétaire.

La Société de Mulhouse compte annuellement 549 membres ordinaires, 52 membres correspondants et 9 membres honoraires.

Dans l'année 1890, les recettes se sont élevées à 337 859 marcs, dont 23 824 pour les cotisations, 27 215 pour les intérêts de titres et 139 276 pour le solde du legs Hubner. Les dépenses pour la même période ont été de 236 753 marcs dont 16 451 pour les publications, 24 109 pour le service des diverses fondations, 119 088 pour achat de titres, etc.

Rapport sur la **marche de l'école de chimie**, par M. G. Steinbach.

L'école a été fréquentée dans l'année scolaire 1889-90 par quarante-cinq élèves réguliers et manipulateurs. La première année comptait quinze élèves réguliers, la seconde huit, et la troisième cinq. Sur ces derniers, deux ont obtenu des diplômes. Il y a en outre dix-sept manipulateurs qui ont pris part aux exercices de laboratoire.

Le plus grand nombre des élèves a été naturellement Alsaciens, 12; il y a eu 4 Allemands, 5 Français, 4 Suisses, etc. Il y avait 2 Anglais, 1 Américain et 1 Chilien.

Note sur un **procédé d'enlevage de couleurs** fixées au chrome, par M. H. Schmidt.

Note sur un nouveau **mode de fabrication du genre «bistre»** au moyen du permanganate de potasse, par M. J. Dépierre.

Rapport sur un nouveau **procédé de fabrication du genre « bistre »** au moyen du peroxyde de manganèse de M. J. Dépierre, par M. A. Frey.

Mordants composés, par M. Prud'homme.

Note sur la **fabrication de nouvelles matières colorantes**, par M. Fischesser.

Note sur une **disposition trouvée par M. Hanhart**, pour rendre les pointes de bobines plus dures, par M. Rodolphe Bourcart.

Dans les métiers à filer self-actings, c'est la contre-baguette, par les fils ou les ressorts qui la tendent, qui produit la tension du fil pendant la rentrée du chariot, c'est-à-dire pendant la formation des cônes successifs de la bobine. Cette tension, jusqu'à présent, ne variait pas suffisamment de la base au sommet du cône et malgré l'action du doigt du secteur, on ne parvenait pas, surtout pour les gros numéros, à faire les pointes très serrées.

M. Hanhart a imaginé de caler sur la contre-baguette un levier vertical à différentes hauteurs duquel on peut fixer une corde mince qui s'enroule sur une petite poulie tournant sur un axe fixé au bâti auquel est ancrée l'extrémité d'un ressort en spirale. Il en résulte que le chariot en rentrant fait tourner la poulie et tend de plus en plus le ressort dont la tension se transmet par le levier à la contre-baguette. Cette disposition permet d'augmenter de près de dix pour cent le poids des bobines.

Bulletin de février 1891.

Recherches sur l'**huile pour rouge turc**, par M. Scheurer-Kestner.

Note sur la **coloration des métaux**, par M. A. Burghardt.

M. le docteur Lœwenherz a fait des expériences sur les colorations prises par les métaux lorsqu'on les soumet à certaines températures. Il a cherché, dans un but décoratif, à obtenir d'un même métal différentes colorations par oxydation, selon le degré de température et le temps d'immersion dans un bain d'air chaud. L'opération se fait dans une étuve à double paroi dans l'intervalle desquelles circulent les gaz chauds d'un foyer.

Le cuivre et le laiton peuvent recevoir des nuances qui vont de l'orange clair au gris sombre pour le premier et du jaune orange au vert pour le second.

Sur un nouveau mode de **formation de dérivés de l'indazol**, par MM. Witt, Noelting et Grandmougin.

Action du cuivre sur la résistance des couleurs à la lumière, par M. Albert Scheurer.

Note sur la **minghite**, un bois colorant des Indes, par M. A. Feer.

Action de quelques réducteurs sur le soufre et le sélénium, par M. Émile Trautmann.

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS ALLEMANDS

N° 10. — 7 *Mars* 1891.

Distribution d'eau de Kœnigsberg, par G. Becker *(fin)*.

Diagramme des charges supportées par les toitures, par A. Bollinger.

Nouveautés dans les machines-outils à travailler les métaux, par H. Fischer *(suite)*.

Constructions navales. — Vitesse effective dans le remorquage, par E. Dietze. — Appareils pour mettre à l'eau les embarcations, par A. Schmidt.

Modification de la législation allemande sur les patentes d'invention, par O. Heutig.

Groupe de Thuringe. — Installations de distribution de force par l'air comprimé *(fin)*. — Calcul de la dépense d'air et de gaz des moteurs à air chaud et des moteurs à gaz.

Bibliographie. — Hambourg et ses constructions, par l'Association des ingénieurs et architectes de Hambourg.

Variétés. — Crochet de sûreté d'Ormerod.

Correspondance. — Rupture des machines à vapeur.

N° 11. — 14 *Mars* 1891.

Utilité de la condensation, par F.-J. Weiss.

Prix de revient du travail avec les petits moteurs, par A. Riedler.

Expériences sur des carneaux de chaudières chauffés au rouge, par Cl. Haage.

Constructions navales. — Vapeurs à roues à grande vitesse, par A. Schmidt.

Groupe du Rhin inférieur. — L'industrie du zinc. — Rupture d'un piston de machine à vapeur.

Variétés. — Transmission à grande distance des courants électriques de haute tension. — Rupture de l'arbre du vapeur anglais *Crocodile*. — Exposition internationale d'électricité à Francfort-sur-le-Mein. — Gaz naturel en Angleterre.

N° 12. — 21 *Mars* 1891.

Notice nécrologique sur le Dr Friedrich Adolf Bernoulli.

Chemin de fer souterrain à Londres, par L. Troske *(suite)*.

Utilité de la condensation, par F.-J. Weiss *(fin)*.

Machines-outils. — Nouveautés dans les machines-outils à travailler les métaux, par H. Fischer *(suite)*.

Association des chemins de fer. — Tarifs par zones en Hongrie et leurs conséquences.

Bibliographie. — Recherches théoriques et pratiques sur la construction des machines magnétiques, par le Dr M. Corsepius.

Variétés. — Station centrale de Sardinia-street de la Métropolitan Electric Supply Co, à Londres. — Importation et exportation de machines de l'union douanière allemande en 1890.

Correspondance. — Distribution de force par l'air comprimé.

Réforme de la législation des patentes d'invention.

N° 13. — 28 *Mars* 1891.

Chemin de fer souterrain à Londres, par L. Troske *(suite)*.

Machines pour la fabrication du papier à l'Exposition universelle de 1889, à Paris, par G. Rohn.

Développement de la chimie industrielle en Allemagne et en Autriche-Hongrie, par H. Ost.

Presses actionnées par l'air comprimé, par J. Pfeiffer.

Machines-outils. — Riveuses hydrauliques.

Groupe de Bergues. — Emploi des explosifs pour la taille des pierres. — Chemin de fer électrique aérien d'Elberfeld à Barmen. — Canalisation d'Elberfeld.

Réunion générale de l'Association allemande des fabricants de ciment Portland.

Variétés. — Chaudière Le Moal. — Disposition pour l'emploi de la tournure de fonte dans les cubilots. — Les chemins de fer allemands pendant l'exercice 1889-90.

Correspondance. — Rupture de machines à vapeur. — Ponts en encorbellement en Allemagne.

Pour la Chronique et les Comptes rendus :
A. Mallet.

PARIS. — IMPRIMERIE CHAIX, 20, RUE BERGÈRE.— 7918-4-91.

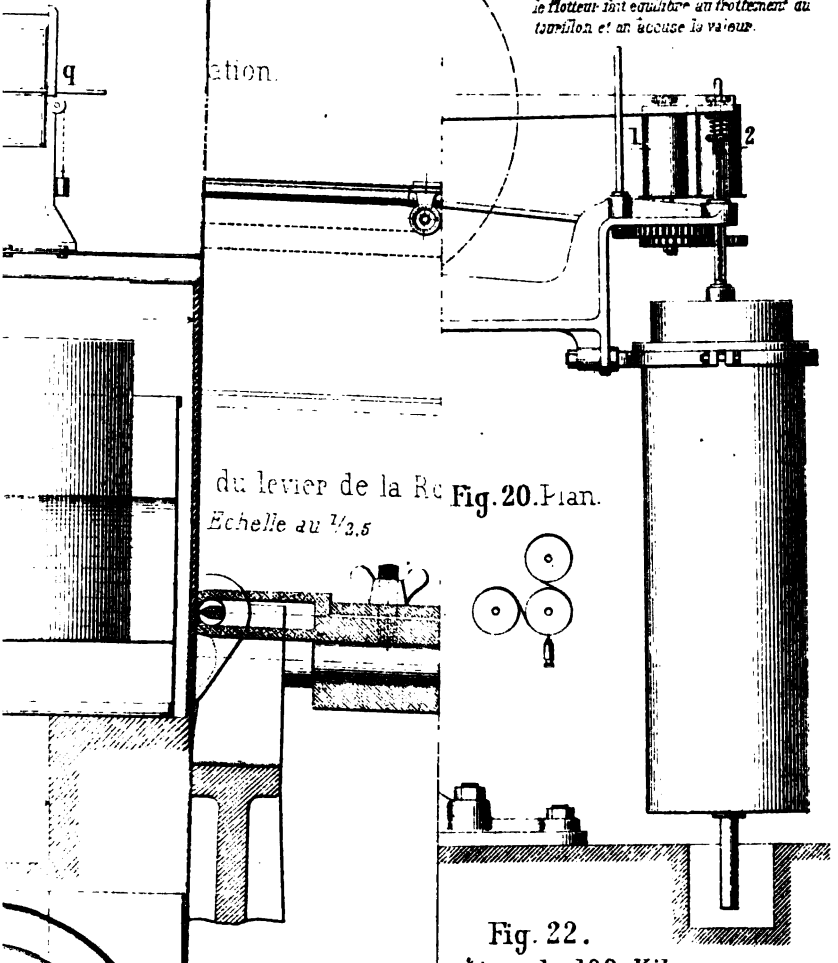
s efforts de frottement.

nri Fayol Ing rs

e 100 Kilog.

Echelle des ordonnées du diagramme par mill. de hauteur ——— 0K,200
Par son immersion plus ou moins grande le flotteur fait equilibre au frottement du tourillon et en accuse la valeur.

ation.



du levier de la Rc

Echelle au 1/2,5

Fig. 20. Plan.

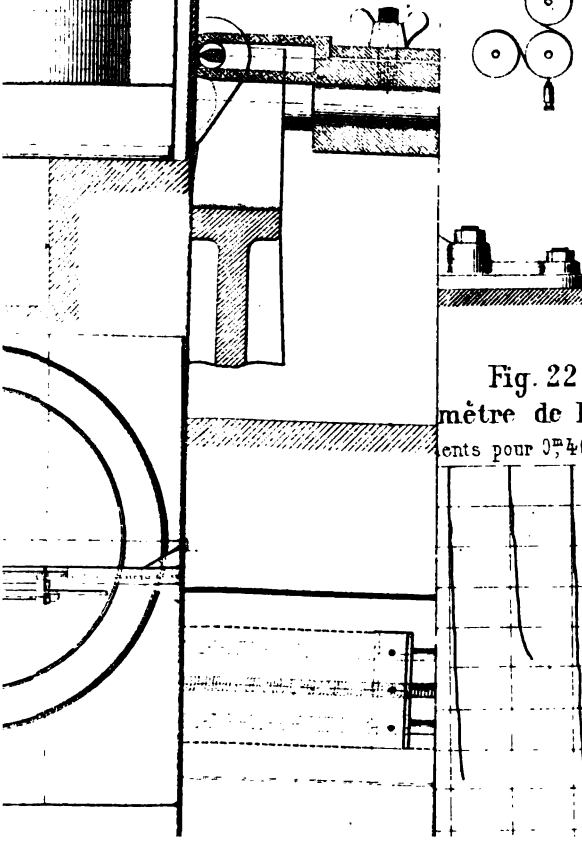
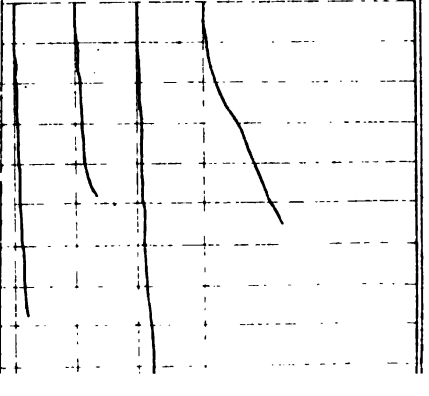


Fig. 22.

mètre de 100 Kilog.

ents pour 0m,400 de long.r



MÉMOIRES

ET

COMPTE RENDU DES TRAVAUX

DE LA

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS

AVRIL 1891

N° 4

Sommaire des séances du mois d'avril 1891 :

1° *Rectifications* au procès-verbal de la séance du 20 mars (Séance du 3 avril), page 333 ;

2° *Lettres* de MM. Robineau et Chaudy (Séance du 3 avril), page 334 ;

3° *Les Habitations ouvrières*, par M. E. Cacheux (Séance du 3 avril), page 334 ;

4° *La Métallurgie de l'aluminium*, par M. Ch. Haubtmann, et Observations de MM. P. Regnard, P.-A. Casalonga et Lettre de M. J.-H. Guasco (Séances des 3 et 17 avril), pages 335 et 344 ;

5° *L'Aluminium* par M. Spiral et Observations de MM. Ch. Haubtmann, P. Regnard et S. Jordan (Séance du 3 avril), page 340 ;

6° *Décès* de MM. V. Despret, L. Valentin et M. Redon (Séance du 17 avril), page 344 ;

7° *Décoration* (Séance du 17 avril), page 345 ;

8° *Lettre* de M. le directeur de l'Association des Industriels de France (Séance du 17 avril), page 345 ;

Port de Pasdjès (Observations au sujet du), page 345 ;

10° *Nouveau système de chemin de fer électrique (Discussion de la communication sur un)*, de M. J.-J. Heilmann, par MM. R. Arnoux, Ch. Haubtmann, J.-J. Heilmann, E. Coignet et A. de Bovet (Séance du 17 avril), page 346 ;

11° *Outillage des ports de mer et des voies de communication, canaux, rivières et chemins de fer,* par M. J. de Coëne (Séance du 17 avril), page 355.

Pendant le mois d'avril, la Société a reçu :

32087 — De M. Ch. Legrand (M. de la S.). *Les chemins de fer de grande altitude des Andes sur la côte du Pacifique.* (In-8° de 56 p. avec pl.) Bruxelles, Imprimerie des Travaux publics, 1891.

32088 — De M. P. Mahler (M. de la S.). *Traits principaux de la fabrication des aciers moulés.* (In-8° de 27 p.) Paris, *Génie Civil,* 1891.

32089 — De M. A. Fock (M. de la S.). *A propos du Transsaharien.* (In-8° de 7 p.) Paris, Motteroz et May, 1891.

32090 — Du même. *Les tracés du Transsaharien.* (Petit in-8° de 14 p.) Constantine, G. Heins, 1891.

32091 — De M. W. Jackson. *Annual Report of the City Engineer Boston for the yeard 1890.* Boston, Rockwell and Churchell, 1891.

32092 — De M. W. Ham Hall. *Irrigation developpement France, Italy and Spains.* (In-8° de 622 p.) Sacremento, J. Ayers, 1886.

32093 — Du même. *Irrigation in Southern California, San Diego, San Bernardino, Los Angeles.* (In-8° de 672 p.) Sacremento, J. Ayers, 1888.

32094 — De M. Henrivaux (M. de la S.). *La résistance du verre.* (Petit in-8° de 30 p.) Paris, 1891.

32095 — De M. Max de Nansouty (M. de la S.). *L'année industrielle 1891.* (In-18 de 284 p.) Paris, B. Tignol, 1891.

32096 — De M. Burton. *Pompes et compresseurs d'air. Catalogue illustré.* (Petit in-4° de 30 p.) Paris, 1891.

32097 — De M. P. Blanchod (M. de la S.). *Notice sur la perforation mécanique des tunnels.* (Grand in-8° de 14 p.) Vevey, L. Borgeaud 1886.

32098 — Du même. *Notice sur une nouvelle traverse de chemin de fer brevetée sous le nom de traverse en fer Z.* (Petit in-4° de 7 p. avec pl.) Vevey, L. Borgeaud, 1886.

32099 — Du même. *Compresseurs d'air.* (Petit in-folio de 11 p. avec pl.) Lausanne, G. Bridel, 1888.

32100 — Du même. *Eclairage électrique.* (Petit in-folio de 11 p.) Lausanne, G. Bridel, 1888.

32101 — Du même. *Turbine système Girard à libre déviation.* (Petit in-folio de 11 p. avec pl.) Lausanne, G. Bridel, 1888.

32102 — de M. F. Brabant (M. de la S.). *Le gaz à l'eau.* (In-8° de 51 p.) Liège, A. Desœr, 1890.

32103 — De M. J. Forrest. *Minutes of Proceedings of the Institution of civil Engineers, vol. CIII, 1890-91 Part I.* London, Institution 1891.

32104 à 32106 — De M. Garnier (M. de la S.). *Nouvelle-Calédonie. Thio. Mines de Nickel, Moulinet, Rose et Sans-Culotte.* 3 photographies.

32107 — De la Préfecture de la Seine. *Catalogue de la bibliothèque administrative (Section française).* Paris, Marchal et Billard, 1890.

32108 — De M. M. Urban (M. de la S.): *Chemin de fer Grand Central Belge. Direction de la traction et du matériel. Compte rendu de l'exercice 1890.* (Petit in-4° autographié de 58 p.) Bruxelles, 1891.

32109 — De M. Casalonga (M. de la S.). *Discours prononcés sur la tombe de J. Armengaud aîné,* par MM. Casalonga et Périssé. (In-8° de 16 p.) Nancy, Berger-Levrault, 1890.

32110 et 32111 — De M. A. Mallet (M. de la S.). *Les cités ouvrières de Mulhouse et du département du Haut-Rhin,* par M. M. Pénot. (Grand In-8° de 178 p. avec pl.) Mulhouse, L. Bader. Paris, E. Lacroix, 1867.

32112 à 32128 — Du même. Diverses patentes anglaises relatives: 1° *aux machines à vapeur;* 2° *aux moyens de transport et d'emmagasinement des huiles minérales;* 3° *aux docks flottants et appareils pour la mise à sec des navires.* Grand in-8°, London, 1854 à 1872.

32129 — Du Ministère des Affaires étrangères. *Conditions du travail en Italie.* (In-8° de 51 p.) Paris, Berger-Levrault et C^ie^, 1891.

32130 à 32136 — De M. H. Fayol (M. de la S.). *Etudes sur le terrain houiller de Commentry.* Livre I^er^ *Lithologie et stratigraphie,* 4^me^ partie par de Launay et S. Meunier. Livre II^e^ *Flore fossile.* Appendice à la 1^re^ partie, 2^e^ et 3^e^ parties par Renault et Zeiler. Livre III^e^ *Faunes* par Brongniart et E. Sauvage (3 volumes in-8° avec atlas in-folio). Saint-Etienne, Théolier et C^ie^, 1888 et 1890.

Les membres nouvellement admis, pendant le mois d'avril, sont:

Comme membres sociétaires, MM.:

M.-P.-Ch. Baron,	présenté par MM.	Bonpain, Delaporte, Monfray.
Ch. Béranger,	—	Brüll, Baudry, de Gennes.
P.-A. Bergès,	—	Caron, Chabrier, Reymond.
L.-J-M. Bodard,	—	Polonceau, Jordan, Durant.
E.-A. Boinvilliers,	—	Polonceau, Buron, Durant.
G.-M. Bukaty,	—	Brüll, Carimantrand, Mallet.
D. Fitz-Gérald,	—	Bouscaren, Watson, Woods.
E.-A.-Ch. Gas,	—	Parent, de Bovet, Dehenne.
J.-M. Gondin,	—	Pommier, Poulot, Boutain.
E.-A. Hardy,	—	Remaury, Valton, Pourcel.
J. Hébrard,	—	Polonceau, Chaussegros, Durant.
J.-B. Mercey,	—	Polonceau, Chaussegros, Durant.
M. Miet,	—	Olivier, Badon-Pascal, Dumartin.

L. Morel, présenté par MM. Carimantrand, Lévi, Mallet.
G.-P. Rodiès, — Deullin, Seyrig, Couriot.
W.-R. Rowan, — Jullien, Broca, Bourdon.
A. Schmid. — Carimantrand Franck de Préaumont, Mallet.
R. Seguela, — Polonceau, Dujardin-Beaumetz, Biéber.
J.-W. Yzerman, — Eiffel, Contamin, Post.

Comme membre associé M. :

J.-A.-V. Le Bouvier, présenté par MM. Polonceau, Buron, Durant.

RÉSUMÉ

DES

PROCÈS-VERBAUX DES SÉANCES

DU MOIS D'AVRIL 1891

Séance du 3 Avril 1891.

PRÉSIDENCE DE M. P. BUQUET, VICE-PRÉSIDENT.

La séance est ouverte à huit heures et demie.

M. LE PRÉSIDENT propose l'adoption du procès-verbal de la précédente séance présidée par M. le Ministre des Travaux publics, sous la réserve des modifications que M. Contamin demande à voir introduire dans les paroles qui lui sont attribuées; modifications sur lesquelles il se mettra d'accord avec le président de la Société.

M. SIMON demande à présenter une observation.

Il s'est glissé une erreur dans le compte rendu de la note de M. Gruner. M. Gruner aurait dit que la Société des Ingénieurs civils a, à maintes reprises, appuyé par ses votes des réformes dont la nécessité semble s'imposer de plus en plus.

Cette assertion est en contradiction avec la déclaration de M. le Président à M. le Ministre des Travaux publics, déclaration rappelant que, conformément aux statuts, la Société n'est pas responsable des opinions de chacun de ses membres, même dans la publication de ses Bulletins. (Art. 35.)

M. LE PRÉSIDENT dit que satisfaction sera donnée à cette observation, la Société n'émettant jamais de vote ni même de vœu.

M. D.-A. CASALONGA présente une observation relative à l'ordre du jour. La communication de M. Leloutre sur la théorie de la machine à vapeur est à l'ordre du jour depuis plus d'un an. Au dernier moment, on a changé celui-ci, ce qui présente des inconvénients pour tout le monde. M. Casalonga demande pourquoi?

M. LE PRÉSIDENT répond que c'est sur la demande de M. Leloutre lui-même que sa communication a été remise. On ne pouvait donc faire autrement.

Sous le bénéfice de ces observations, le procès-verbal est adopté.

M. LE PRÉSIDENT donne communication d'une lettre de M. Robineau dans laquelle celui-ci dit que l'application des tubes Mannesmann du diamètre de 0,80 *m* lui paraît indiquée pour son système de Métropolitain postal devant relier l'Hôtel des Postes avec les grandes gares de Paris, au moyen d'un réseau pneumatique de grand diamètre.

M. CHAUDY a également envoyé une lettre relative à la communication de M. Durand. Il pense qu'il y aurait grand avantage à faire de nombreux essais à la flexion.

En effet la formule $\mu\, pi = \frac{R.I}{V}$ n'est rigoureusement vraie que pour les pièces de section rectangulaire. La loi d'indéformation des sections planes perpendiculaires à la ligne moyenne n'est rigoureusement exacte que pour les sections rectangulaires. Pour les autres la formule est $\mu = K\frac{R.I}{V}$. Il faut par expérience déterminer K, et il faudrait pour cela suivre la méthode indiquée par M. Phillipps, qui est de faire des essais sur des modèles réduits.

M. LE PRÉSIDENT donne la parole à M. E. Cacheux pour la discussion de sa communication sur *les Habitations ouvrières*.

M. E. CACHEUX dit qu'il lui a été adressé à ce sujet une communication par M. Verberckmoës, qui a acheté un terrain de 100 000 m^2 environ, à Clichy. Ce terrain était couvert de constructions abominables; il y avait des ruelles dont tout le monde reconnaissait l'insalubrité. M. Verberckmoës a percé des rues; il a donné une certaine surface à la commune pour construire des écoles, a vendu un lot à l'archevêque de Paris, qui y a fait bâtir une église, et a consacré un quartier à la construction de logements à étages, dans lesquels il y a trois pièces, avec eau dans les cuisines. Enfin, il a installé le *tout à l'égout*. Cette opération est purement philanthropique, car M. Verberckmoës ne retire que 4 0/0 de ses capitaux. La consommation de l'eau revient à 25 *f* par ménage environ ; tandis que, dans les maisons parisiennes, même où l'on n'a pas le *tout à l'égout*, l'eau revient à 36 *f* par famille.

M. Cacheux a reçu une autre communication de M. Driessens, propriétaire à Saint-Denis, qui a acquis 50 000 *m* de terrain. Il a construit des petites maisons de quatre pièces qu'il vend avec le terrain à raison de 4 000 *f*. M. Driessens a commencé par faire des rues de 7 *m* de largeur bordées de trottoirs et munies d'un égout. Le prix de revient des rues est peu élevé, grâce à l'emploi de mâchefer.

Le loyer d'une maison se compose de l'intérêt du capital engagé plus les charges. L'intérêt du capital n'est que de 200 *f*, mais le montant des charges est très élevé. La Compagnie des eaux ne fournissant de l'eau qu'aux personnes qui s'engagent à payer un prix minimum de 65 *f* par an, les habitants se servent d'eau de puits ou de celle qui est fournie par les fontaines de la ville.

Pour la vidange, la commune force les habitants à avoir une fosse fixe, ou à louer une tinette qui coûte 25 *f* par an. L'enlèvement des tinettes est peu coûteux, car les habitants se servent de leur contenu,

pour engraisser les champs à proximité qu'ils louent à très bon compte: 0,05 *f* par mètre et par an. Si l'on voulait installer le tout à l'égout dans une maison de M. Driessens, il faudrait compter sur une dépense annuelle de 95 *f* (fourniture d'eau 65 *f* et droit d'écoulement à l'égout 30 *f*). Il en serait de même pour des petites maisons sises dans des communes suburbaines et même à Paris. Il serait donc désirable de voir l'administration répartir les charges relatives à la fourniture d'eau potable et à l'enlèvement des vidanges d'une façon plus équitable pour la petite propriété.

M. LE PRÉSIDENT remercie M. Cacheux de ces nouveaux renseignements, et donne la parole à M Charles Haubtmann pour sa communication sur *la métallurgie de l'aluminium.*

M. CH. HAUBTMANN rappelle que la fabrication de l'aluminium a fait des progrès considérables dans ces derniers temps. De nombreuses modifications ont été apportées dans les procédés chimiques, par Grabau en Allemagne, Castner et Netto en Angleterre. En France et en Amérique, les perfectionnements ont surtout porté dans la voie de l'électrolyse où les méthodes de MM. Minet, Héroult et Hall se sont rapidement développées.

M. Haubtmann fait ressortir l'intérêt que peut avoir pour la France la production à bas prix de l'aluminium, à cause de l'absence absolue, dans notre sol minier, de minerais de métaux usuels, tels que l'étain et le cuivre. Au contraire, nos gisements de bauxite, qui sont des oxydes d'aluminium, sont très considérables, et le prix peu élevé (20 francs environ) de la tonne de cette matière permettra, peut-être, de remplacer dans certaines applications industrielles le cuivre et l'étain par l'aluminium.

M. Haubtmann expose ensuite que les procédés de fabrication de l'aluminium peuvent se diviser en trois classes:

1° Procédés chimiques : H. Sainte-Claire-Deville, Castner, Netto, Grabau;

2° Procédés thermo-électriques : Cowles;

3° Procédés électrolytiques : Ad. Minet, Héroult, Hall, etc.

M. Haubtmann demande à ses collègues la permission de ne pas les entretenir trop longtemps des méthodes chimiques employées dans l'extraction de l'aluminium. Elles sont au fond toutes les mêmes à quelques détails près, et ont pour base le procédé indiqué par H. Sainte-Claire-Deville en 1856.

On extrait de la bauxite l'alumine, que l'on porte ensuite au rouge dans une cornue. On fait passer au travers de cette alumine un courant de chlore et il se forme de ce fait du chlorure d'aluminium anhydre sur lequel on fait réagir du sodium pour séparer l'aluminium.

Les perfectionnements apportés dans ces procédés par Castner, Grabau, Netto, consistent dans les moyens employés pour l'extraction de l'alumine de la bauxite et la préparation du sodium.

Quant au procédé thermo-électrique de Cowles, employé pour les alliages d'aluminium à l'usine de Milton, en Angleterre, M. Haubtmann le résume ainsi : un four du genre Siemens dans lequel on introduit

des barres de métal auquel on veut allier l'aluminium, soit du fer ou du cuivre, par exemple, et en même temps un mélange de charbons et d'alumine. Sous l'influence du passage d'un courant électrique de grande intensité, le carbone réagit sur l'alumine, et l'aluminium mis en liberté se combine, au fur et à mesure, au métal, fer ou cuivre, que renferme le creuset.

M. Haubtmann, avant d'entrer dans l'exposé des méthodes électrolytiques, rappelle que l'on peut faire l'électrolyse de trois manières différentes :

1° Par dissolution;
2° Par fusion aqueuse;
3° Par fusion ignée.

La méthode par dissolution a été la plus employée jusque dans ces derniers temps. Quant à la fusion aqueuse, on n'en connaît encore pas d'applications industrielles. Il ne nous reste donc que la fusion ignée, qui a pris un grand développement depuis la fabrication de l'aluminium par l'électrolyse des fluorures d'aluminium. Elle offre un grand avantage en ce sens que le volume de l'électrolyte est très réduit et que les pertes par rayonnement sont de ce fait très amoindries. Il faut tenir compte aussi de cette particularité, que les matières traitées se trouvant à l'état anhydre, les chaleurs de formation doivent être prises comme étant à l'état solide.

M. Haubtmann expose ensuite les principales lois qui régissent les phénomènes d'électrolyse :

1° Loi de quantité;
2° Loi de force électromotrice minimum;
3° Loi de Sprague.

Loi de quantité. — Lorsqu'un électrolyte est traversé par une quantité d'électricité égale à 96 512 coulombs, le poids des matières décomposées est représenté en valeur absolue par leurs poids moléculaires, exprimés en grammes, avec cette condition que l'élément électro-négatif entre dans la formule chimique avec un seul équivalent.

Loi de force électromotrice minima. — La force électromotrice minima, nécessaire à la décomposition d'un électrolyte, est proportionnelle à la chaleur de formation des matières composant l'électrolyte.

On a : $E = 0{,}0435\ C.$

E force électromotrice en volts;
C chaleurs de formation, en calories.

Loi de Sprague. — L'ordre de décomposition des matières contenues dans un électrolyte suit l'ordre des chaleurs de formation. Ce sont celles qui ont la moindre chaleur de formation qui sont décomposées les premières.

Après l'exposé de ces lois, M. Haubtmann donne quelques détails sur les procédés industriels employés pour l'extraction de l'aluminium, de la cryolithe et de l'alumine.

1° Procédé Héroult (1886), usines de Neuehaûsen et de Froges.

M. Héroult dit électrolyser l'alumine dissoute dans de la cryolithe (fluorure double d'aluminium et de sodium $Al^2\ Fl^3 + 3\ Na\ Fl$).

D'après lui, le sodium étant le métal le plus électropositif du mélange. se décompose le premier et réagit immédiatement sur le fluorure d'aluminium. En jetant de l'alumine le long de l'anode, l'oxygène se combine au carbone pour former de l'oxyde de carbone, et l'alumine au fluorure.

Les cuves employées par M. Héroult dans l'usine de Froges sont garnies de charbon, et on emprunte au courant électrique l'énergie nécessaire à la mise en ignition de l'électrolyte. La tension entre les deux électrodes est en marche normale de 7 volts 5 environ et la cuve entière forme cathode.

2° Procédé Minet (1887), usine de Creil. M. Adolphe Minet semble avoir étudié d'une façon très approfondie l'électrolyse par fusion ignée.

En se basant sur les lois que nous avons énoncées plus haut, M. Minet pense que ce sont les fluorures d'aluminium qui s'électrolysent tant que la tension du courant n'atteint pas 15 à 20 volts et la température du bain 1 600°. En appliquant la loi de force électromotrice minima, on constate que le fluorure d'aluminium, ayant une chaleur de formation moindre que celle du fluorure de sodium, doit se décomposer le premier. De sorte qu'en réglant d'une façon convenable le voltage du courant, on pourrait arriver à ne décomposer que de l'aluminium, ce qui serait très avantageux : d'abord à cause de la faible tension nécessaire (2v,5 à 3 volts), et ensuite par la bonne utilisation du courant, qui ne servirait qu'à décomposer des matières utiles.

La régénération du bain s'indique d'elle-même, par l'emploi de l'alumine, qui est attaquée au fur et à mesure de l'alimentation par les vapeurs de fluor mises en liberté.

Afin de diminuer la densité, d'abaisser le point de fusion du bain et d'augmenter la fluidité, M. Minet compose son électrolyte de la manière suivante :

66 0/0 Na Cl.
33 0/0 $Al^2 Fl^3 + 3$ Na Fl.

La cuve actuelle de M. Minet est aussi en fonte et garnie de charbon, elle sert également de cathode. Elle est chauffée extérieurement et à feu nu.

M. Haubtmann demande ensuite à la Société la permission de l'entretenir pendant quelques instants d'expériences fort curieuses que M. Elihu Thomson a montrées à l'Exposition de 1889.

Ces expériences, qui mettent en évidence les phénomènes de répulsion dus au décalage des courants induits alternatifs sur les inducteurs, sont répétées devant MM. les membres de la Société. M. Haubtmann indique les moyens d'étudier ces phénomènes, au moyen des courbes d'abord, et par la méthode analytique ensuite.

Il dit qu'il a constaté avec surprise l'indifférence avec laquelle ces phénomènes ont été accueillis en France, qui, pourtant, ont déjà donné des résultats pratiques féconds en Angleterre et en Amérique.

Il ajoute qu'à son avis ces expériences ne sont que la suite de celles entreprises dix ans auparavant par MM. Wilfrid de Fonvielle et Lontin, avec cette différence que ces messieurs employaient des disques de fer, et que ce n'était que des actions magnétiques que l'on avait en présence, tandis que M. Elihu Thomson emploie des disques de cuivre dans les-

quels il se développe des courants qui réagissent sur l'électro-aimant inducteur.

M. Haubtmann signale quelques applications et pense pouvoir apporter à la Société des résultats pratiques très complets, notamment en ce qui concerne le réglage des distributions par courants alternatifs.

M. Regnard demande à dire quelques mots sur la question d'électrolyse.

M. Haubtmann a fort bien expliqué que l'aluminium doit être déposé par le courant avant le sodium.

M. Haubtmann demande la permission de compléter cette partie de sa communication et de montrer pourquoi le sodium se dépose avant l'aluminium.

Le chlorure de sodium a une chaleur de formation qui est 100,8, et le fluorure d'aluminium, 36,6 environ.

Pour décomposer le chlorure de sodium, il faut un courant de 4 volts 1/2, tandis que, pour le chlorure d'aluminium, il faut 2 volts 5.

Pour décomposer le fluorure d'aluminium, il faut marcher à 3 volts, et il n'y aura alors pas de fluorure de sodium décomposé.

M. P. Regnard fait remarquer que ce qu'il veut dire n'est pas absolument en désaccord avec ce qui vient d'être exposé. En 1885, M. Regnard a visité une usine en Allemagne, où on s'était flatté de lui montrer de l'aluminium ; on lui en a bien montré quelques grains sur un morceau de cuivre; mais s'il n'a pas vu sa fabrication, par contre, on fabriquait dans l'usine en question du magnésium, et, dès cette époque, M. Regnard fut persuadé qu'en décomposant certains sels doubles, on arriverait de la même façon à la fabrication de l'aluminium.

Cette fabrication du magnésium se fait en partant d'un sel double de magnésie et de potasse.

Ce chlorure double, qui se trouve en abondance à Stassfurth, renferme à l'état natif plusieurs équivalents d'eau.

On commence par chauffer dans des bassines en fonte, de manière à éliminer l'eau qu'il contient, et la fin de cette élimination s'accuse par un dégagement d'acide chlorhydrique, le sel devenu anhydre commençant alors à se décomposer. Ayant ainsi un chlorure anhydre double de magnésium et de potassium, on le met dans un creuset en fer placé dans un fourneau et chauffé à feu nu; ce creuset est fermé par un couvercle, dans lequel s'engagent des tuyaux en grès qui conduisent le chlore à une série de bonbonnes où il est recueilli par dissolution, et, en dernier lieu, absorbé par un lait de chaux. Dans le creuset plonge un cylindre en terre réfractaire fermé à la base, et dont la paroi cylindrique est percée vers le bas d'un certain nombre de fenêtres. Le niveau du liquide, chlorure double, fondu par voie ignée, de magnésium et de potassium, s'établit dans ce vase à la même hauteur que dans le creuset en fer. Dans ce vase plonge une anode en charbon, reliée à un pôle d'une dynamo, le creuset étant relié de son côté avec l'autre pôle. Lorsque la température est suffisante pour maintenir le bain dans un état de fluidité convenable, on fait passer le courant, et il se produit un dégagement de chlore en même temps que se forment des globules de magné-

sium. Ces globules se rassemblent difficilement, car le chlorure double fondu a presque la même densité que le métal produit; il se forme des petites sphères de magnésium qui nagent dans le bain. Au bout d'un temps assez long on enlève tous les creusets d'une batterie de fours; il y a un ensemble de dispositions mécaniques facilitant l'arrachage et le versage de ces creusets dans une poche. On rassemble le magnésium, on le sépare du résidu de scories, qui est du chlorure double, appauvri en magnésium; cette scorie concassée fournit encore de petits grains de magnésium, et on refond le métal pour le couler en pains.

Dans ce procédé, comme dans celui de la fabrication de l'aluminium, on voit parallèlement soumis à l'action électrolytique les deux métaux unis à un même métalloïde : ici le potassium et le magnésium unis au chlore; là le sodium et l'aluminium unis au fluor.

M. Regnard n'a pas pu mesurer les nombres de volts et la quantité d'ampères fournis par la dynamo, mais il a vu qu'un électricien suivait avec grande attention les variations du courant. Il est probable qu'il s'attachait à maintenir une tension suffisante pour décomposer le chlorure de magnésium et détruire le moins possible le chlorure de potassium. Cependant, lorsqu'on faisait couler le métal, il était manifeste qu'il y avait eu aussi du potassium réduit, malgré la différence de chaleur de formation des deux chlorures, car la flamme du magnésium étant blanche, on remarquait de petites flammes violettes dues à la combustion du potassium.

Il est donc permis de penser que dans la décomposition électrolytique du fluorure double d'aluminium et de sodium, un peu de sodium doit aussi pouvoir se produire.

M. D.-A. Casalonga dit que M. Haubtmann a dédommagé les membres qui assistent à la séance de la remise de la communication de M. Leloutre. Il veut faire remarquer que les expériences imaginées par M. Thomson ont frappé les esprits aussi bien en France qu'à l'étranger, et que chacun a cherché où pouvaient être les explications de ces phénomènes si singuliers.

En voyant tout à l'heure ces appareils se mouvoir, M. Casalonga se demandait si M. Haubtmann ou M. Thomson avaient établi une théorie de ces phénomènes.

Quant à lui, il croit impossible d'admettre que les phénomènes d'électricité soient de nature impondérable, quelque extraordinaires qu'ils puissent paraître; il croit qu'ils sont des manifestations de la puissance vive.

On ne peut concevoir des phénomènes mécaniques produits par une cause non mécanique.

M. Haubtmann dit qu'il a étudié une théorie de ces phénomènes, mais qu'elle est fort ardue. Elle n'est pas encore assez simplifiée pour qu'il puisse l'exposer à la Société. Personne d'ailleurs n'en a encore établi une et l'explication de ces phénomènes semble jusqu'à présent fort obscure.

M. le Président remercie M. Haubtmann de cette intéressante com-

munication et dit qu'il espère la voir complétée plus tard et donne la parole à M. A. Spiral pour sa communication sur *l'Aluminium et ses alliages*.

M. A. Spiral dit qu'en présence de la baisse de prix de l'aluminium, M. Polonceau avait chargé le laboratoire de la Compagnie d'Orléans de rechercher les avantages que l'on pourrait recueillir de l'emploi de ce métal dans la fabrication des alliages et des aciers. Avant de commencer cette étude, on a voulu tout d'abord rechercher quels étaient les résultats déjà acquis, et ce sont les résultats de ces recherches que M. Spiral, a résumés dans la communication qu'il présente à la Société, se réservant de faire connaître dans une autre note les résultats de ses essais personnels.

Il a surtout puisé ces renseignements dans la *Revue Universelle des Mines et de la Métallurgie*, note de M. Langenhove (année 1889); dans les *Annales des Mines*, notes de M. Ichen et de M. Kuss, ingénieurs des Mines.

Passant sur l'historique de l'aluminium, M. Spiral rappelle pour mémoire le procédé Deville.

Le procédé Castner est le procédé Deville modifié: on obtient le sodium par réaction d'un carbure de fer lourd sur la soude en fusion. Le prix de revient du sodium serait inférieur à 2 *f* le kilogramme; le prix de l'aluminium serait de 18 à 20 *f* le kilogramme.

Dans le procédé Netto on décompose la cryolithe par le sodium. Celui-ci s'obtient en faisant couler de l'hydrate de soude fondu sur du charbon chauffé au rouge dans une cornue de fonte. On peut produire 750 *kg* de sodium avant que la cornue soit mise hors de service.

Dans le procédé Grabau on décompose le fluorure d'aluminium par le sodium.

Celui-ci est obtenu par voie électrolytique. On en fait agir le courant sur un bain, fondu dans une espèce de creuset. Le bain est formé d'un mélange de chlorure de sodium, chlorure de potassium et de chlorure de strontium. Le sodium reviendrait à 1,50 *f* le kilogramme.

Pour obtenir le fluorure d'aluminium on fait réagir le sulfate d'alumine sur le spath fluor, de manière à former le composé Al^2 (Fl^4 So^4) qui est ensuite traité par la cryolithe.

M. Spiral passe sur les procédés électrolytiques, dont M. Haubtmann vient de parler d'une façon très complète.

Il dit seulement que dans le procédé Cowles il y a non pas réduction de l'alumine par le carbone, mais bien dissociation de l'alumine.

Puis M. Spiral passe aux propriétés de l'aluminium et de ses alliages.

Les propriétés principales de l'aluminium sont sa faible densité, sa malléabilité, sa ductilité et son inaltérabilité aux gaz de l'atmosphère.

Parmi ses alliages on remarque l'alliage avec l'étain (Al = 10, Sn = 100) qui se soude facilement. Il a été découvert par M. Bourbouze. Sa densité est égale à 2,85. Il est inaltérable aussi aux gaz atmosphériques.

Parmi les alliages de cuivre et d'aluminium, il faut noter ceux à faible teneur en cuivre (2 à 8 0/0); à 6 0/0 on a une résistance double de celle de l'aluminium. La densité de ces alliages reste très faible.

Parmi les bronzes-aluminium on connaît depuis longtemps le bronze à 10 0/0 d'aluminium découvert par Debray. On l'a proposé pour faire des coussinets et des pièces de machines.

L'aluminium augmente dans de très fortes proportions la dureté et la résistance à la traction du cuivre. L'allongement, très augmenté pour des teneurs de 2 à 3 0/0 d'aluminium, se fait uniformément sur toute la longueur de l'éprouvette.

Les alliages Cowles sont toujours un peu siliceux, et moins ductiles que les alliages obtenus avec les procédés Héroult et Minet.

Dans la sidérurgie on emploie le ferro-aluminium. Cet alliage est très oxydable et difficile à conserver.

Avec la fonte, l'aluminium jouit de la propriété de retarder le dégagement du carbone dissous jusqu'au moment de la solidification, mais alors le carbone se dégage instantanément; ce fait a été indiqué par M. Keep, fondeur américain. La fonte obtenue est plus homogène, plus compacte. Elle est plus facile à travailler et moins sujette à se tremper. Les parties les plus minces se solidifient aussi rapidement que les plus grosses. Il y a gonflement du métal au moment de la solidification et par suite moins de retrait.

La quantité d'aluminium à ajouter ne dépasse pas quelques millièmes. On ajoute le ferro-aluminium dans la poche de coulée, après l'avoir réduit en morceaux de la grosseur d'une petite noix et chauffé au rouge.

Ajouté à l'acier, l'aluminium donne de la fluidité au métal; cette plus grande fluidité n'est pas due à la présence de l'alliage d'aluminium, mais à l'action chimique sur l'oxyde de fer; ce n'est pas un abaissement de température de fusion qui se produit, mais une élévation de température du bain due au grand nombre de calories dégagées par l'oxydation de l'aluminium, en même temps que la disparition de l'oxyde de fer diminue l'infusibilité.

On ajoute le ferro dans la poche de coulée pour les aciers Bessemer et Siemens-Martin après chauffage au rouge.

Pour les aciers au creuset, on chauffe le ferro dans un deuxième creuset et on coule par-dessus.

La résistance à la rupture pour quelques dix-millièmes d'aluminium est augmentée de 10 0/0 sans diminution de l'allongement.

L'addition d'aluminium au fer donne le fer métis. On chauffe des rognures de fer dans des creusets, et quand le métal prend l'état pâteux on ajoute 2 à 7 dix-millièmes d'aluminium. Le métal entre en fusion et peut être coulé. Il y a encore là affinage par décomposition des oxydes.

Le métal obtenu perd la texture fibreuse; la résistance à la traction peut atteindre 40 à 45 *kg* et l'allongement dépasser 20 0/0.

M. le Président remercie M. Spiral de sa communication très intéressante.

M. Haubtmann demande à faire remarquer la présence à la séance de M. Héroult. Ce sont des Français qui ont montré la voie à suivre pour la fabrication de l'aluminium.

M. Héroult, en 1886, a repris les expériences de Sainte-Claire-Deville. C'est un industriel, qui a cherché à produire des appareils industriels;

il y est arrivé dans l'usine de Froges, qui produit 7 à 8 *t* d'aluminium par an.

Quant à M. Minet, Ingénieur de MM. Bernard, à Creil, il a, sinon découvert une théorie, tout au moins puissamment contribué à voir un peu clair dans la marche des phénomènes électrolytiques.

M. Haubtmann est heureux de pouvoir rendre l'hommage qui leur est dû à ces deux Ingénieurs.

M. LE PRÉSIDENT dit qu'on ne peut que s'associer à ces paroles.

M. REGNARD demande si, en dehors des qualités qu'on a indiquées, il a été fait sur l'aluminium des essais à la traction.

M. SPIRAL dit que ces chiffres sont indiqués dans sa communication.

M. S. JORDAN, en prenant la parole, regrette que M. Brivet, l'ancien élève de Deville, qui a donné à la Société un intéressant rapport sur l'aluminium, ne soit pas présent. En son absence M. Jordan, quoiqu'il ne se soit jamais occupé specialement d'aluminium, croit utile de donner quelques indications, d'après un journal américain récent.

La *Pittsburg Reduction Company*, dont le président est M. Alfred-E. Hunt que la Société a eu le plaisir de recevoir parmi les Ingénieurs américains en 1889, vient d'effectuer une nouvelle baisse de prix de l'aluminium, que l'on peut obtenir maintenant (en Amérique) commercialement pur à 1 dollar la livre, soit 11,50 *f* le kilog, et à 90 cents la livre, soit 10,35 le kilog, avec une teneur de 3 à 10 0/0 de corps étrangers (le soufre et le phosphore étant garantis absents).

En ce moment il est question, aux États-Unis, de plusieurs procédés nouveaux en vue desquels on cherche à constituer des Sociétés par actions et qui semblent promettre à l'envi des prix de revient, pour l'aluminium, toujours de plus en plus bas. C'est sans doute pour réagir contre ces promesses aventureuses et contre un certain engouement peu raisonné du public pour ce qui concerne l'aluminium, que M. Alfred Hunt, un des hommes qui connaissent le mieux ce métal, vient de faire à Boston (en février dernier) une très intéressante conférence sur les propriétés, les emplois et les procédés de fabrication.

En se basant sur les résultats de son usine, qui produit 170 *kg* d'aluminium pur par jour, il estime comme suit le prix de revient théorique auquel on peut espérer arriver par le travail en grand :

2 *kg* d'alumine (à 52,94 0/0 d'aluminium). . .	0,690 *f*
1 *kg* carbone pour électrode	0,230
Produits chimiques, poussier de charbon et creusets.	0,115
48 1/2 chevaux électriques pendant une heure (moteur hydraulique).	0,575
Main-d'œuvre et surveillance	0,345
Frais généraux, intérêts et entretien	0,345
	2,30 *f* le kilog.

M. Hunt déclare que les deux principales difficultés qu'il a eu à vaincre

pendant les deux dernières années, pour introduire le métal qu'il produit dans l'industrie, sont d'abord les assertions extravagantes, erronées et, dans beaucoup de cas, mensongères, publiées sur les propriétés de l'aluminium, et, en second lieu, les assertions également extravagantes, erronées, faites par des inventeurs de procédés de fabrication d'aluminium à des prix fabuleusement bas. Aussi un journal américain, l'*Engineering and Mining Journal*, en rendant compte de sa conférence, dit qu'il est intéressant d'apprendre, d'une source aussi compétente, que l'aluminium n'a pas que des propriétés avantageuses, et indique notamment les faits suivants :

Pour beaucoup d'usages, le métal pur est moins avantageux que celui contenant 3 à 4 0/0 d'impuretés. Le métal pur est très mou et pas aussi résistant que celui impur ; de plus, la mince couche d'oxyde dont il se revêt par l'exposition à l'air lui donne une apparence terne qui lui nuit dans beaucoup d'applications (la vaisselle de table, par exemple).

Il devient mou et pâteux à une température aussi basse que 535° environ, fond vers 700° et perd sa résistance à la traction et une bonne partie de sa rigidité à 200 ou 250° ; sa conductibilité, pour la chaleur et pour l'électricité, n'est que la moitié de celle du cuivre. Sa résistance à la traction n'est pas plus grande que celle de la fonte ordinaire et n'est qu'environ 1/3 de celle du fer employé dans les constructions, tandis que sa résistance à la compression n'est que 1/6 de celle de la fonte. Quant à la résistance à la flexion, un barreau carré de 25 *mm* en fonte de fer, reposant sur deux appuis distants de 1,37 *m*, peut supporter un poids de 226 *kg* avec une flèche de 50 *mm* ; en aluminium, la flèche sera de 50 *mm* avec un poids de 113 *kg* seulement.

Le coefficient d'élasticité de l'aluminium coulé n'est qu'environ moitié de celui de la fonte de fer.

Les faits ci-dessus, dit le journal américain, ont été réunis dans le but de montrer que l'aluminium ne justifie pas, pour l'emploi dans la construction, les réclames extraordinaires dont il a été l'objet, mais ils ne diminuent en rien sa valeur et son importance pour les emplois auxquels il est réellement approprié. Ces applications sont très nombreuses et vont constamment en augmentant en nombre. La conférence de M. Hunt est intéressante et développée ; elle annonce, sous ce rapport, entre autres choses, qu'on a trouvé, grâce à un flux convenable, le moyen de souder ou braser l'aluminium au moyen de diverses soudures.

En terminant, M. Jordan demande si on a quelques détails sur le procédé employé à l'usine de Pittsburg, procédé qui permet une telle réduction de prix.

M. LE PRÉSIDENT remercie M. Jordan de sa communication, qui complète ce qui a été dit jusqu'à présent.

M. HAUBTMANN dit que le procédé employé à Pittsburg est celui de M. Hall, qui ressemble beaucoup au procédé Minet ; seulement au lieu de doser le bain avec du chlorure de sodium, on emploie le fluorure de lythium. En ce qui concerne les prix de revient, il pense que les procédés électrolytiques ont l'avantage. En France, par l'emploi des bauxites, qui coûtent 20 *f* la tonne, on arrivera à un meilleur résultat que les

procédés chimiques qui emploient le sodium, dont le prix est fort élevé.

M. Jordan fait remarquer que l'emploi des bauxites peut être difficile, car la composition de celles-ci est très variable, depuis 25 jusqu'à 60 0/0 d'alumine, tandis que les Américains emploient une sorte de corindon contenant 53 0/0 d'aluminium. C'est un des éléments du bas prix de l'aluminium en Amérique.

M. A. Lencauchez demande si réellement la présence de l'aluminium dans l'acier abaisse le point de fusion.

M. Jordan dit qu'à l'usine de Pittsburg on prétend que non.

M. Haubtmann fait remarquer qu'en Angleterre on affirme que le fait est vrai.

Un Membre croit qu'il n'est pas difficile de faire pratiquement de l'aluminium, mais que la difficulté est d'en vendre. Son emploi dans la construction des dynamos serait très avantageux.

M. le Président dit qu'en résumé, quel que soit le procédé qu'on suive, il paraît certain que d'autres progrès sont encore incessants et qu'il est à espérer que le prix de l'aluminium s'abaissera encore.

La séance est levée à onze heures moins le quart.

Séance du 17 avril 1891.

Présidence de M. E. Polonceau

La séance est ouverte à huit heures et demie.

M. le Président donne connaissance d'une lettre de M. Guasco dans laquelle notre collègue fait remarquer que M. Haubtmann, en parlant de la pauvreté absolue de notre sol en minerais de métaux usuels d'étain ou de cuivre, n'a pas tenu compte des gisements d'étain du Morbihan, et de cuivre du Dauphiné, de la Lozère et des Vosges.

M. le Président fait remarquer que M. Haubtmann a voulu parler de manque d'exploitation de ces minerais.

M. le Président a le regret d'annoncer le décès de plusieurs membres de la Société :

M. Despret Victor, membre de la Société depuis 1886, ancien élève de l'École des mines de Liège : lauréat du concours entre les Universités de Belgique en 1856-57 (Mémoire couronné ayant pour titre : *Des applications de l'électricité aux Arts et à l'Industrie*). Il fut Ingénieur en

chef et directeur de plusieurs Compagnies de chemins de fer en Belgique, puis Ingénieur en chef, directeur de l'exploitation du chemin de fer Grand Central Belge.

M. Valentin Léopold, membre de la Société depuis 1857, fondateur des ateliers de construction de Willebrœck (Belgique), administrateur délégué de la Société de constructions et des ateliers de Willebrœck, ancien élève de l'École centrale, promotion de 1856.

M. Redon Martial, membre de la Société depuis 1848, et l'un de ses fondateurs, qui fut grand fabricant de porcelaines, décédé à Limoges, le 3 janvier 1891.

M. LE PRÉSIDENT annonce que M. Coutelier, membre associé depuis 1872, fabricant d'ornements et d'objets estampés, a été nommé officier du Cambodge.

Il est ensuite donné lecture de la lettre suivante:

« Paris, le 17 avril 1891.

» Monsieur le Président,

» J'ai l'honneur de vous annoncer que par décret de M. le Président » de la République, en date du 8 avril 1891, l'Association des Industriels » de France contre les accidents du travail vient d'être reconnue comme » établissement d'utilité publique.

» Fondée, en 1883, par M. Emile Muller, elle continue, sous l'active » impulsion de son éminent Président actuel, M. Périssé, à rendre de » grands services à l'industrie au point de vue de la prévention des » accidents. Elle contribue dans une large mesure, en assurant, autant » qu'il est pratiquement possible de le faire, la sécurité du personnel et » la salubrité de l'atelier, à diminuer ces accidents du travail dont nous » avons trop souvent à enregistrer la douloureuse statistique.

» En même temps qu'elle affirme la généreuse sollicitude des chefs de » maison à l'égard de leurs ouvriers, elle est une preuve évidente de ce » que peut faire l'initiative privée, lorsqu'elle entreprend, avec énergie » et résolution, de résoudre un de ces graves problèmes sociaux qui se » posent, si nombreux, aujourd'hui.

» L'Association des Industriels de France contre les accidents du tra- » vail compte actuellement près de 800 membres et son action protectrice » s'exerce déjà dans 26 départements et sur plus de 100 000 ouvriers. » Son développement s'accentue tous les jours.

» Veuillez me faire l'honneur d'agréer, monsieur le Président, l'hom- » mage de mes sentiments les plus distingués.

» *Le Directeur de l'Association,*
» *Signé:* H. MAMY. »

M. le PRÉSIDENT dit qu'à la suite de certains passages du mémoire de M. Delaunay, sur le port de Pasajès, mémoire qui a paru dans le *Bulletin* de novembre 1890, une correspondance a été échangée entre M. Delaunay, la Société et les Ingénieurs français qui se sont autrefois occupés les premiers de cette affaire. De cet échange de correspondance il résulte que M. Delaunay, dans son mémoire, n'a jamais songé à faire allusion

aux études ou travaux des Ingénieurs français, M. C. Collet d'abord et ensuite MM. Chauvisé et Bidel, qu'aucune idée d'appréciation défavorable n'a été émise par lui à cet égard, et qu'ils restent en dehors de l'accident signalé dans le mémoire, pour le quai Transatlantique.

M. LE PRÉSIDENT donne la parole à M. R. Arnoux pour *la discussion de la communication de M. J. Heilmann sur ur nouveau système de chemin de fer électrique.*

M. R. ARNOUX dit que son intention est de discuter non pas le système lui-même, qui est étudié avec beaucoup de soin et une compétence toute spéciale, mais son application à nos voies ferrées.

M. J.-J. Heilmann a dit que son système qui, comme on le sait, consiste à supprimer *la traction* en remplaçant la locomotive actuelle par une usine roulante et productive d'électricité, fournissant l'énergie nécessaire à la locomotion du train, à une série de moteurs électriques calés sur les essieux de toutes les voitures, était motivé par les deux raisons suivantes :

1° La traction électrique se prête à la réalisation des grandes vitesses beaucoup mieux que la traction par locomotives à vapeur;

2° L'application de la traction électrique, par les systèmes connus jusqu'ici, à des lignes à longs parcours, entraine à des dépenses hors de proportion avec le but à atteindre.

M. Arnoux pense qu'on peut être d'accord avec M. Heilmann sur le premier point. L'emploi des moteurs électriques, alimentés comme on voudra, peut permettre et permet en effet sur de simples lignes de tramways de réaliser des vitesses considérables, et cela sans trépidation, par suite de la suppression complète d'organes moteurs à mouvements alternatifs dont le grave défaut est de communiquer au train tout entier des mouvements de roulis, de tangage et de lacets qui fatiguent énormément le matériel mobile et la voie ferrée.

D'autre part, l'emploi rationnel des moteurs simples et peu coûteux sur tous les essieux de chaque voiture, de façon à utiliser l'adhérence de toutes les roues du train, permettra de gravir sans difficulté des rampes considérables et inconnues jusqu'ici sur les voies ferrées ordinaires. On sait, en effet, que dès qu'on atteint des rampes de 40 à 50 *mm* par mètre et dans de bonnes conditions climatériques, le poids du remorqueur doit être au moins égal au poids total des voitures remorquées. Avec des tramcars électriques, on est parvenu à gravir des rampes de 100 et même de 120 *mm* par mètre. Il n'est donc pas douteux que la locomotion électrique permette la construction de voies ferrées à fortes rampes dont la réalisation est absolument impossible avec le matériel actuel *à traction* sur voie ferrée ordinaire.

Quant au second point, qui se rapporte plus spécialement au système de M. Heilmann, M. Arnoux ne peut admettre que les systèmes actuellement connus et, en particulier, le système de transmission de l'énergie électrique par ligne aérienne, entrainent sur nos voies ferrées à long parcours à des dépenses hors de proportion avec le but à atteindre, comme l'a dit M. Heilmann.

Pour se faire une opinion motivée sur ce point et répondre avec fruit à M. Heilmann, M. Arnoux dit qu'il n'y a qu'à examiner :

1° Ce qui s'est passé depuis trois ans et demi aux États-Unis ;

2° Les conditions spéciales d'exploitation dans lesquelles se trouvent nos voies ferrées françaises.

Tout le monde connait le développement énorme qu'a su acquérir en très peu de temps la locomotion électrique des tramcars aux Etats-Unis. En moins de trois ans et demi, 130 villes de l'Union ont adopté la locomotion électrique sur des lignes comprenant un développement total de plus de 3 000 *km* de voie. Sur les 353 lignes actuellement existantes et dont 300 sont en pleine exploitation, circulent 2 000 voitures animées par 3 200 moteurs électriques et exigeant 50 000 chevaux de puissance.

Pour donner une idée de l'importance relative qu'a su acquérir en si peu de temps la locomotion électrique, M. Arnoux cite les chiffres suivants tirés des comptes rendus de la *Street Railway Convention* (Congrès des tramways des rues) qui s'est tenue aux États-Unis en juillet 1890.

Tramways à chevaux. . .	10 000 *km*	de voie ferrée.
— électriques. . .	3 000	—
— à vapeur. . . .	890	—
— funiculaires . .	706	—

On voit donc que le système de locomotion le plus développé après le système à traction animale, qui est le plus ancien de tous, est le système électrique.

Le système de traction funiculaire, qui s'est particulièrement développé dans les villes du Nord de l'Union, ainsi que nous le disait dernièrement notre collègue M. Garnier dans la très intéressante relation qu'il nous a faite de son dernier voyage dans le nord des États-Unis, est cependant celui qui présente le moins d'applications dans ce pays.

La traction par câble télodynamique ne présente des avantages sérieux que sur les lignes courtes, très chargées et à fortes rampes en général. Dans ces conditions et de l'avis des Ingénieurs américains qui ont acquis une compétence spéciale sur cette question, ce mode de traction est au moins aussi économique que les meilleurs systèmes de tramways électriques. Les améliorations de quelques années renverseront probablement ces conditions ; mais déjà lorsque la ligne est longue et pas trop chargée, l'avantage reste tout à fait du côté de l'électricité.

Quant à la traction à vapeur dans l'intérieur des villes, pas plus en Amérique qu'en Europe la sagacité des inventeurs n'est parvenue jusqu'ici à réaliser une machine à vapeur capable d'actionner des voitures d'une façon pratique et satisfaisante.

Pour en revenir à la locomotion électrique, M. Arnoux dit qu'il existe actuellement trois systèmes ayant subi la consécration de la pratique :

1° Le système à fil aérien dans lequel l'énergie est fournie à la voiture à l'aide d'un conducteur suspendu au-dessus de la voie et sur lequel peut se déplacer un petit chariot entraîné par la voiture ou, plus simplement et plus généralement, sur lequel vient frotter l'extrémité d'un *trolly*, sorte de longue perche fixée sur la toiture du *car;*

2° Le système à conducteur souterrain, placé dans une conduite établie parallèlement aux rails, la prise du courant électrique s'effectuant à l'aide d'une pièce ou bras descendant à travers une ouverture longitudinale ménagée dans la conduite ;

3° La traction par accumulateurs, où le courant est fourni par des accumulateurs placés sur la voiture et qui sont chargés aux stations extrêmes par des machines fixes.

La locomotion par accumulateurs est le plus ancien de tous les systèmes. On sait qu'elle a été réalisée pour la première fois par notre collègue N.-J. Raffard, en mai 1881, entre Paris et Versailles, à l'aide d'une grande voiture de la Compagnie générale des Omnibus, type Louvre-Charenton, de 50 places et du poids de 3,5 *t*, que M. Raffard avait munie d'un mécanisme électro-moteur de son invention, alimenté par une batterie de 100 accumulateurs de la Société *Force et Lumière*.

La locomotion par accumulateurs est théoriquement la solution la plus complète pour les tramcars parcourant les rues des villes, car chaque voiture forme une unité indépendante. D'autre part, il n'est pas contestable que l'avantage théorique des accumulateurs croit avec la longueur de la ligne, car les frais n'augmentent pas avec cet élément comme dans le cas de la transmission de l'énergie électrique par conducteur aérien ou souterrain ; c'est d'ailleurs le système le plus pratique lorsque les voitures ont un itinéraire variable.

Malheureusement, tous ces avantages sont contre-balancés par deux inconvénients assez graves pour ne permettre l'application des accumulateurs que dans des cas spéciaux et sur des lignes à profils très peu accidentés. C'est d'abord leur poids considérable et ensuite leur extrême fragilité. On sait, en effet, que les plaques des accumulateurs actuels sont constituées par des grilles de plomb pur ou antimonié, dans les vides desquelles se trouvent emprisonnées des pastilles de litharge ou de minium sur lesquelles les trépidations qui se produisent toujours plus ou moins pendant la marche de la voiture ont une influence absolument néfaste. En très peu de temps, ces pastilles se déchaussent, se détachent et forment souvent dans l'intérieur de l'appareil des courts circuits qui le mettent rapidement hors de service ; de sorte que dans une exploitation courante, il faut porter le taux d'amortissement de cette partie du matériel à une valeur tellement élevée qu'elle enlève presque tout bénéfice.

C'est là, on peut le dire, la véritable cause du peu de développement actuel de ce système, dont il n'existe pas deux pour cent d'applications aux États-Unis, malgré tous les efforts tentés. L'avenir de la locomotion par accumulateur dépend *uniquement* de la découverte d'un accumulateur léger et solide.

Le second système à canalisation électrique souterraine longeant la voie ferrée ne s'est pas plus développé que le précédent, à cause du prix de revient très élevé de la canalisation, des difficultés sans nombre qu'on rencontre pour assurer le bon isolement des conducteurs et le bon entretien de l'ensemble, qui est inévitablement exposé à recevoir toutes les eaux et toutes les boues de la chaussée. D'après MM. Kapp et Crosby, les prix de revient du présent système et du système à conducteur aérien dont il va être question maintenant seraient les suivants :

	Prix du kilom. à double voie.
Canalisation souterraine	75 000 *f*
— aérienne à deux rangées de poteaux métalliques	11 000 *f*
— aérienne à une rangée de poteaux métalliques à double potence	8 500 *f*

D'après cela on conçoit facilement pourquoi le nombre des applications de ce système aux Etats-Unis ne s'élève pas actuellement à plus de 1 0/0 et celui des applications du système à conducteurs aériens dépasse 97 0/0.

Si ce dernier système n'a pas pris autant d'extension sur l'ancien Continent, c'est qu'en Europe l'emploi des conducteurs aériens a rencontré une très vive opposition dans les grandes villes, parce qu'on a plus qu'aux Etats-Unis le souci de l'esthétique des rues et qu'on se préoccupe davantage d'éviter les accidents qui sont susceptibles de se produire par la chute des conducteurs maintenus à des pressions électriques élevées qui, comme on le sait, s'imposent par raison d'économie dès que la ligne devient un peu longue. Mais cette dernière préoccupation n'est pas justifiée ; en effet, aux Etats-Unis où les municipalités des villes ont imposé aux Compagnies de tramways des tensions électriques peu différentes de 500 volts, jamais personne n'a été foudroyé par les courants électriques des lignes de tramways, bien que des milliers de personnes aient été accidentellement mises en contact avec les conducteurs.

Dans ces conditions, il y a lieu de se demander si la locomotion électrique, qui a donné de si beaux et si rapides résultats aux Etats-Unis dans les communications suburbaines, ne serait pas applicable aux communications interurbaines, c'est-à-dire aux lignes de chemins de fer elles-mêmes.

M. Arnoux dit que, contrairement à l'opinion de M. Heilmann, il croit que la traction électrique par voie aérienne pourrait donner de bons résultats en France. En Amérique, les distances entre gares sont considérables et le trafic relativement faible. En France, la distance moyenne entre gares n'est que de 6,75 *km* avec un maximum de 15 *km* et un fort trafic.

Partant de cette donnée et adoptant le chiffre de 7 *km* pour la distance entre stations, M. Arnoux, pour calculer le prix de revient du kilomètre de ligne, suppose une usine d'une puissance électrique disponible de 400 000 watts (540 chevaux) à chaque station et une perte d'énergie maxima de 20 0/0 dans les conducteurs qui seraient supportés par des poteaux placés, par exemple, dans l'entre-voie le long de la ligne.

L'emploi de poteaux ne rencontrerait pas de difficultés comme dans les villes, puisque l'accès de la voie ferrée est interdit au public et qu'il y a déjà des poteaux pour les lignes télégraphiques ordinaires.

M. Arnoux calcule d'abord la canalisation électrique en partant des formules suivantes :

$$\frac{\mathfrak{C}\,E^2}{R} = (EI) \qquad (1)$$

$$R = \rho \frac{L}{S} \qquad (2)$$

$$P = \delta LS \qquad (3)$$

dans lesquelles E désigne la différence de potentiel disponible à l'usine, R la résistance de la ligne aérienne, I le courant qui la traverse, $\mathfrak{C}$ le taux ou le pour cent de la perte d'énergie $\mathfrak{C}$ (EI) consentie sur cette ligne, L sa longueur totale, S sa section, P son poids, et enfin ρ et δ la résistance et le poids spécifiques du métal employé.

Dans ces conditions on déduit facilement pour le poids total P du conducteur l'équation :

$$P = \rho\delta \frac{(EI)}{\mathfrak{C}} \times \frac{L^2}{E^2} \qquad (4)$$

qui montre que, toutes choses restant égales d'ailleurs, le poids P de ce conducteur est :

1° Proportionnel à l'énergie électrique (EI) disponible à l'origine de la ligne ;

2° Inversement proportionnel au taux $\mathfrak{C}$ de la perte d'énergie consentie sur celle-ci ;

3° Proportionnel au carré de sa longueur ou, ce qui revient au même, au carré de la distance ;

4° Et enfin inversement proportionnel au carré de la différence de potentiel adoptée E.

Cette relation indique que pour maintenir le poids et par conséquent le prix du conducteur constant, quelle que soit la distance, il suffit de faire croître E proportionnellement à cette distance.

Mais pour assurer le bon fonctionnement des appareils et la sécurité de la ligne on ne peut employer des forces électro-motrices trop élevées.

Avec nos voies ferrées inaccessibles au public on pourrait adopter une différence de potentiel de 1 000 volts. La formule (4) devient alors en tenant compte de la résistance (spécifique 5) $= 1{,}65 \times 10^{-6}$ et de la densité $\delta = 8{,}9$ du cuivre :

$$1{,}65 \times 10^{-6} \cdot 8{,}9 \frac{400\,000}{0{,}2} \left(\frac{700\,000}{1\,000}\right)^2 = 14\,391\,300\ g.$$

Il est facile de calculer également que la résistance de la ligne serait de 0,5 ohm, sa section 2,31 cm^2 et le courant qui la traverserait 400 ampères.

En comptant le cuivre à 1,50 *f* le kilo, la dépense en cuivre atteindrait 21 586,05 *f*, pour transmettre à 3,5 *km* soit en amont soit en aval de la station une puissance électrique disponible de 400 000 watts.

Cette puissance devant être transmise indifféremment à 3,5 *km* en amont ou en aval de la station et sur les deux voies ascendante et descendante, le prix du cuivre à dépenser atteindrait en réalité quatre fois cette valeur, c'est-à-dire à 86 347 *f*. A cette dépense il faudrait ajouter le prix des poteaux destinés à isoler et à soutenir au-dessus de chaque voie les conducteurs de cuivre et que la Compagnie Thomson-Houston, qui a construit près de 200 lignes de tramways électriques aux États-Unis, éva

lue à 200 *f*, pose et isolateurs compris ; et comme il en faudrait un chaque 20 *m*, la dépense en poteaux, pour une longueur de 7 *km*, serait de $350 \times 200 = 70\,000$ *f*. Le prix de la portion de ligne desservie par chaque station atteindrait donc la valeur de 156 347,80 *f*, et le prix de revient du kilomètre, pour une ligne à double voie, serait de 22 385,54 *f*, soit le double du prix de revient d'un kilomètre de ligne américaine de tramways alimentée par une usine de 100 chevaux de puissance.

Quant au prix de la station électrique, il ne serait pas sensiblement supérieur à celui de l'usine mobile de M. Heilmann. Le prix de revient d'une station d'éclairage électrique d'une puissance comprise entre 500 et 1 000 chevaux est de 200 *f* par cheval sans la canalisation électrique. En supposant une puissance utilisable de 400 000 watts et un rendement de 90 0/0 à la génératrice de chaque station, la puissance mécanique de celle-ci devrait être de 600 chevaux et son prix de revient serait de 120 000 *f* qui, ajouté à celui de la portion de ligne desservie par la station, porterait le prix de celle-ci à 276 347 *f* et le prix du kilomètre de ligne à 39 478 *f*.

Dans ses calculs, M. Arnoux a supposé une perte *maxima* de 20 0/0 sur la ligne, mais il fait observer que la perte *moyenne* serait peu supérieure à 5 0/0. Cette perte maxima n'a lieu, en effet, que quand le train est à mi-distance de deux stations consécutives, et elle tend vers zéro quand le train arrive à hauteur de chaque station, de sorte que sa valeur *moyenne* serait 10 0/0. D'autre part, les deux lignes électriques ascendante et descendante étant réunies parallèlement, de distance en distance, de façon à se prêter un mutuel appui en cas d'avaries sur l'une d'elles, la résistance totale de la ligne serait réduite de moitié, ainsi que la perte *moyenne*.

Pour faciliter la comparaison, M. Arnoux a supposé une puissance utilisable de 540 chevaux à chaque station, mais cela ne serait pas nécessaire puisque le système à conducteurs fixes permettrait de supprimer les usines mobiles de M. Heilmann et par conséquent de réduire de moitié environ le poids de chaque train et la puissance mécanique nécessaire à son entraînement, de sorte que ce système, tout en ayant un rendement électrique un peu moins bon que celui de M. Heilmann, serait néanmoins sensiblement plus économique.

M. Arnoux pense que l'économie de charbon réalisée de ce chef et par suite de l'emploi de chaudières et de moteurs fixes à grand rendement, représenterait à un taux très élevé l'intérêt de l'argent consacré à la ligne électrique, d'autant plus que la locomotion électrique par usines et conducteurs fixes est aujourd'hui un problème résolu.

M. Arnoux pense donc que le système de M. Heilmann pourrait, en effet, être essayé à peu de frais, mais en fait ne changerait en rien les conditions actuelles d'exploitation, tandis que le système par usine et conducteurs fixes modifierait profondément ces conditions en permettant d'augmenter le nombre et la fréquence des trains.

Le fractionnement des grands trains actuels permettrait d'installer des machines électriques moins puissantes, mais mieux utilisées, et permettant même d'actionner des lignes de tramways. D'un autre côté,

la légèreté même du matériel amènerait à des économies considérables dans les frais d'exploitation.

M. H. Forest demande si une station venant à manquer la ligne serait coupée ?

M. Arnoux dit qu'alors les autres stations fourniraient l'énergie électrique nécessaire.

M. Ch. Haubtmann fait remarquer que l'on procéderait comme on fait, par exemple, à Paris, pour les distributions d'électricité avec les réseaux employant les feeders, arrivant de directions différentes et alimentant un même point, de sorte que, si une usine vient à manquer, les autres peuvent lui suppléer; on a fait de même en Angleterre. En ce qui concerne la communication de M. Heilmann, qui trouve que la locomotive est un mauvais engin de traction, M. Haubtmann croit, tout compte fait, que le système proposé par M. Heilmann n'est pas meilleur. Il remplace la locomotive actuelle par une station centrale d'électricité organisée dans le wagon de tête distribuant, par des fils de lignes, l'électricité aux dynamos commandant chaque essieu. En admettant la consommation de vapeur très faible, indiquée par M. Heilmann, la dynamo Rechniewski qu'il compte employer n'aura pas un rendement de 90 0/0. D'expériences faites partout il résulte qu'un moteur électrique placé sous une voiture ne donne que 60 0/0 du travail pris aux bornes. La raison en est la suivante : considérant une machine Gramme, on sait que l'intensité maxima de courants induits dans la génératrice ne se produit pas sur l'axe de la machine, mais se trouve déplacée d'un angle variant de 10° à 15°, angle appelé angle de décalage. La machine marchant en sens inverse, l'angle de décalage se déplace et est symétrique par rapport à l'axe séparant les deux pôles.

Pour faire marcher le moteur à rendement maximum, il faut placer les balais à l'endroit du collecteur, correspondant à l'intensité maxima. Or, comme ce point varie suivant le sens de la rotation, on a été obligé dans les moteurs de travaux de fixer les balais normalement entre ces deux points, de façon à pouvoir marcher à rendement moindre, mais égal dans un sens ou dans l'autre. La conséquence de cette disposition est un abaissement de rendement de 25 à 30 0/0.

M. Heilmann a dit qu'une ligne électrique par chemin de fer était impraticable dans l'espèce à cause de son prix de revient.

Cette assertion, qui a été déjà combattue par M. Arnoux, n'a rien de fondé, surtout si l'on fait usage des courants de haute tension. M. Haubtmann explique que les courants à hauts potentiels ne sont pas aussi dangereux qu'on se le figure. Il cite l'exemple de la station de Deptford marchant à 10 000 volts alternatifs sans accidents.

Il fait remarquer que, dès l'instant que l'on veut opérer une transformation dans le mode de traction des chemins de fer, il convient de l'effectuer aussi rationnellement que possible, et, en vue de donner de sérieux avantages sur ce qui existe actuellement, M. Haubtmann est persuadé qu'avec l'expérience acquise en Amérique, sur des réseaux de tramways tels que celui de Boston, on peut calculer *a priori* (et il espère avoir l'honneur de le démontrer un jour devant la Société) le régime

d'une ou plusieurs stations centrales devant alimenter une ligne sur laquelle circuleront des trains ayant un graphique quelconque.

Voilà pour la réalisation brutale du fait ; mais, en ce qui concerne l'économie à effectuer sur les systèmes existants, M. Haubtmann assure que l'emploi des hautes tensions seulement permettra d'atteindre ce but.

M. Haubtmann énonce ce principe que, plus la longueur de la ligne sera *considérable*, plus on devra en *diminuer* la section en *augmentant* le potentiel initial aux bornes des dynamos. Maintenant arrive la question de transformation et d'utilisation du courant recueilli sur les lignes. M. Haubtmann pense que les courants alternatifs offrent sur ces deux points de grands avantages sur les continus, surtout si l'on emploie des courants de très grande fréquence. Il cite les moteurs à champ magnétique tournant de MM. Maurice Leblanc, Tesla, Dobrowolsky, n'ayant pas besoin de balais à calage mobile, et possédant un rendement industriel de 85 0/0.

Ensuite, M. Haubtmann décrit le système de traction par courants alternatifs de M. Van Dœple, qui a obtenu un rendement de 65 0/0 de la puissance totale des dynamos, pris aux crochets d'attelage des locomotives électriques. Il fait remarquer en outre à M. Heilmann que caler directement les induits des moteurs sur les essieux des trucks est une solution que l'on a été obligé d'abandonner en Angleterre. Il a participé à des essais faits dans ce sens sur la ligne des tramways de Easton Road, et il dit que, par suite des pertes dues à l'entrefer qu'on est tenu de laisser considérable, des mouvements de transaction de l'essieu, etc., le rendement des moteurs tombe dans des proportions considérables.

M. Haubtmann croit donc que l'avenir de la traction électrique, c'est-à-dire celle qui nous permettra d'effectuer couramment et économiquement des vitesses de 140 *km* à l'heure, aussi bien que celles de 25, puisque la puissance des locomotives pourra être accrue au delà de toute limite, est dans les courants de haute tension, alternatifs ou non, longeant la ligne ferrée.

La production de ces courants pourra être rendue aussi économique que possible, à la condition d'installer convenablement les usines centrales. En ce qui concerne les pertes sur la ligne, on pourra les diminuer autant que l'on voudra en employant de faibles intensités et des conducteurs bien isolés. Quant au prix du kilomètre de ligne, bien que les chiffres que nous a donnés M. Arnoux soient essentiellement pratiques, il pourra être diminué toujours par l'emploi des hautes tensions.

M. Regnard demande à faire remarquer que M. Arnoux dans les systèmes de transmission qu'il a énumérés, fils aériens ou souterrains, n'a pas parlé du système de transmission électrique aller et retour par les rails eux-mêmes. Ceux-ci sont réunis bout à bout par des plaques de cuivre.

M. Regnard a vu fonctionner, il y a cinq ou six ans, ce système en Allemagne, où il paraissait donner de bons résultats, et demande s'il en existe d'autres applications.

M. le Président dit qu'il croit qu'on a reconnu à ce système des inconvénients qui l'ont fait abandonner.

M. Heilmann dit qu'il ne veut pas revenir sur sa communication ; mais il espérait, en venant assister à la discussion annoncée pour la séance, qu'il lui serait posé des questions et demandé des explications sur les motifs qui l'ont poussé à faire son projet. Il a été étonné de voir MM. Arnoux et Haubtmann saisir cette occasion pour développer des problèmes différents. Il eût été plus intéressant, croit-il, de discuter les détails de la locomotive de son système. Il n'a pas cherché à combattre les systèmes de traction électrique pour tramways, car tramways et chemin de fer sont deux choses bien différentes. Il fait remarquer en passant que, si l'on a dit tout à l'heure *qu'il fallait avoir touché de ses mains pour savoir*, il croit avoir sous ce rapport toute l'expérience pour traiter des questions semblables, ayant passé plusieurs années au chemin de fer de l'Est comme contremaître du montage des locomotives et s'occupant d'électricité depuis huit ans.

Il s'est basé sur les expériences et notamment sur les résultats obtenus par M. Desdouits, ainsi que sur les essais faits dans plusieurs Compagnies de chemins de fer.

Il a proposé un système qui permettra aux Compagnies de faire des essais sans dépenser beaucoup d'argent. Car celles-ci ne pourraient consentir à établir une ligne de distribution électrique, soit aérienne, soit souterraine, pour faire des essais en grand. Elles pourront par contre, avec le système de M. Heilmann, se rendre compte que la traction électrique est avantageuse et procéder graduellement au remplacement du matériel. Pour répondre à M. Arnoux, relativement au poids de la locomotive, le chiffre de 55 *t* pour une locomotive développant 600 chevaux a été indiqué par M. Heilmann d'accord avec les constructeurs les plus autorisés de France. On fait l'économie du poids du tender qui est supprimé.

M. Heilmann s'est placé à un point de vue plus élevé en faisant son étude et en la présentant à la Société des Ingénieurs civils. Il a réuni les capitaux nécessaires pour permettre l'exécution de son projet de manière à permettre aux Compagnies de chemins de fer de suivre les essais pouvant se faire sans toucher en aucune manière au matériel fixe existant, et sans rien changer à l'exploitation.

L'expérience seule d'ailleurs pourra démontrer l'avenir de la traction électrique. M. Heilmann fait remarquer qu'il lui semble inutile de prolonger une discussion qui n'a, du reste, pour ainsi dire rien de commun avec la communication qu'il a faite à la Société, car MM. Arnoux et Haubtmann ont tous deux répondu à un projet de chemin de fer par des projets de tramways, ce qui est bien différent (1).

M. Edmond Coignet dit que le système de M. Heilmann lui paraît se prêter d'une façon plus pratique au maintien de l'organisation actuelle de trains à vitesse très variable. Le système de voitures partant toutes les trois minutes lui paraît pratique pour un réseau de tramways, mais pas pour une grande ligne.

M. Haubtmann fait remarquer qu'avec le système qu'il vient d'exposer on peut obtenir des vitesses différentes variant de 20 à 100 *km* à l'heure.

1. Voir dans le bulletin de février 1891, page 149, le mémoire sur un *Nouveau système de chemin de fer électrique*, par M. J.-J. Heilmann.

M. Edmond Coignet répond que ce qu'il a demandé, c'est comment on pourrait établir un régime de voitures partant à trois minutes les unes des autres, avec des vitesses variant de 1 à 4. On serait amené à des garages toutes les trois minutes, ce qui paraît peu pratique.

M. A. de Bovet fait observer que, du moment que M. Haubtmann préconise l'emploi d'une locomotive de préférence aux moteurs disséminés sous toutes les voitures, il ne voit pas pourquoi on recommanderait, même dans ce cas, les courants alternatifs. Les inconvénients reprochés aux courants continus et dérivant de l'impossibilité de modifier, sous tous les wagons, le calage des balais, disparaîtraient en effet, puisque une locomotive suppose un mécanicien qui pourra toujours veiller à ce que les balais de la réceptrice soient convenablement placés.

M. Haubtmann répond que dans le système de M. Heilmann la puissance motrice est répartie sous tous les essieux.

M. le Président résume la discussion en disant que la locomotive a rendu les plus grands services, mais que les Ingénieurs qui s'occupent de traction sont tout disposés à accueillir des locomotives électriques, si on peut leur prouver qu'elles sont aussi économiques et donnent autant de régularité que les locomotives actuelles. Il remercie les membres qui ont pris part à cette discussion.

M. le Président donne la parole à M. J. de Coëne pour sa communication sur l'*outillage des ports de mer et des voies de communication, canaux, rivières et chemins de fer*.

M. J. de Coene rappelle qu'en 1878 il a présenté à la Société une étude qu'elle a bien voulu accueillir avec intérêt et qui parlait de l'outillage des grandes gares de marchandises de l'Angleterre.

Il ajoute que depuis cette époque, sur le continent, les transports se sont développés dans d'énormes proportions. Aux luttes anciennes, qui divisaient les partisans de la navigation des partisans du chemin de fer, a succédé une entente générale, chacun ayant compris qu'au lieu de se combattre il fallait, au contraire, s'entr'aider et créer partout des gares d'eau armées de magasins, d'outillages, de voies ferrées pour un transbordement rapide et économique, diminuant ainsi, dans la plus grande mesure possible, les frais de transport qui constituent toujours une partie de la valeur des marchandises et des matières premières employées par l'industrie.

La statistique nous apprend que :

La navigation intérieure transporte en France. . . .	23.319.700 *t*
(près de 3 milliards de tonnes kilométriques.)	
Que nos ports de mer, embarquent ou débarquent . .	21.000.000
Nos chemins de fer.	76.000.000
Soit au total.	120.319.700 *t*

Chacune de ces tonnes exige, au minimum, une triple manutention, qui, à raison de 0,50 *f* comme prix unitaire, donne pour la manutention une dépense de 180 millions.

Cette opération impose donc à la marchandise pour 1 milliard 20 millions de transport, 28 0/0 de la dépense totale.

De tous les pays d'Europe, jusque dans ces derniers temps, l'Angleterre était restée le plus grand entrepôt du monde par la rapidité de ses manutentions, réalisant par cela même des économies considérables qui ont servi à diminuer les prix des marchandises consommées ou expédiées dans toutes les directions. Depuis, on a senti partout le besoin d'atténuer les dépenses et les pertes de temps, afin d'éviter aux marchandises des avaries, des détériorations, des pertes de valeur qui influent beaucoup sur le prix de revient; aujourd'hui, l'industriel ne doit s'approvisionner qu'au dernier moment s'il veut réaliser des économies importantes sur le capital engagé dans son industrie.

La diminution des délais de transport a tout transformé; en même temps qu'on arrive quatre ou cinq fois plus vite, le fret et le prix des marchandises se sont abaissés.

Autrefois la marchandise arrivait par petites quantités; aujourd'hui, les navires de 2, 3 et 5 000 *t*, les péniches de 2,500 *t* ne sont pas extraordinaires. Les chemins de fer ont des trains complets de marchandises, les wagons de 10 *t* paraissant même insuffisants, les Américains, pour économiser des frais de transport, recourent à l'emploi de wagons de 30 *t* de capacité.

Les arrivages viennent donc par grandes masses, et pour les transborder rapidement il faut des machines, des voies, des appareils variés qui constituent l'appareillage moderne.

De tous les côtés, en Europe, on fait de grands efforts pour substituer à la main-d'œuvre de plus en plus très chère la manutention mécanique.

Nos ports français, bien qu'armés de voies ferrées sur les quais, sont loin d'être complètement outillés pour répondre aux besoins de plus en plus pressants du commerce, et c'est là une des plus grandes préoccupations pour tous ceux qui s'inquiètent de sa prospérité.

L'outillage d'un port de commerce facilite les opérations, les rend rapides et peu coûteuses.

Dans les ports étrangers, tous les services sont placés sous une direction unique, ils forment une seule et même administration: c'est ce qui explique pourquoi leur exploitation est plus économique qu'en France, où les divisions d'attributions de quatre ou cinq administrations entravent les besoins du commerce. La Compagnie des Docks de Marseille a été la première à doter le commerce français de quais et d'entrepôts fort bien outillés.

M. de Coëne voudrait qu'à l'avenir M. le Ministre n'acceptât jamais un projet de port ou de simple bassin dans un port, sans qu'à côté de ce projet la question d'outillage ne fût traitée de la façon la plus complète. Il compare un port de mer sans outils et un port bien outillé à une route ordinaire et à une route ferrée. Dans un port bien aménagé, le fret coûte meilleur marché que dans un port qui n'a pas d'aménagement; la manutention se fait deux fois plus vite et deux fois moins cher dans l'un que dans l'autre.

Le Havre ne reçoit et n'expédie que 2 500 000 *t*, et il est insuffisant bien souvent par suite de l'absence des moyens de déchargement et

d'enlèvement, ainsi qu'on l'expliquait au congrès maritime de l'Exposition de Paris.

Depuis quelques années, l'attention a donc été éveillée en France sur la nécessité d'établir dans tous nos ports un transbordement rapide et économique, comme cela se pratique à l'étranger ; l'exemple le plus remarquable est celui de Hambourg où il n'existe pas aujourd'hui un seul quai qui ne soit abordable par un wagon.

La concurrence force à économiser les frais de séjour des navires et des wagons ; à la vitesse des transports est venue s'ajouter un abaissement considérable du fret ; pour permettre au commerce de mobiliser le plus rapidement la valeur des marchandises, il faut des moyens rapides de déchargement et de mise en magasin.

En Angleterre, et depuis longtemps, on a compris l'utilité de la rapidité pour le transport des marchandises et leur enlèvement immédiat des wagons ; il en résulte une économie sensible sur le matériel de transport sur la surface occupée par les gares, économie sur les camionnages en faisant pénétrer le véhicule jusqu'au centre de la consommation. On comprend qu'au point de jonction des voies d'eau il faut des moyens rapides de déchargement, des outillages perfectionnés, etc.

Les deux voies de transport, par eau et par chemin de fer, ne doivent pas se nuire ; au contraire, elles doivent s'entr'aider, et leur prospérité profite au commerce, à l'industrie et à l'agriculture.

M. de Coëne examine ensuite rapidement les ports principaux de France et de l'étranger.

Outillage du port de Marseille.

Le port de Marseille au point de vue de l'outillage. doit être divisé en trois parties :

1re partie. — Le vieux port ;

2e partie. — Les docks de Marseille :

3e partie. — Les quais du commerce libre.

Sur la première partie, il n'y a ni hangars, ni grues, ni voies ferrées.

Sur la deuxième partie, occupée par les docks de Marseille qui datent de 1860, l'installation est parfaite ; les grues hydrauliques qui sont fixes laissent à désirer puisqu'elles ne permettent pas, comme on le fait aujourd'hui, de déplacer les grues et de les mettre juste en face des panneaux des navires.

Malgré cette imperfection, facile à modifier, les docks de Marseille constituent pour cette ville l'organisation la plus parfaite qu'il y ait en France.

La troisième partie du port de Marseille est le port libre qui a été installé par la Chambre de commerce. Là sont établis des hangars sans magasins, de sorte que la marchandise entreposée doit être camionnée avec des frais considérables.

La gare des marchandises voisine des docks ne possède pas de grues mécaniques, disposition à modifier au point de vue de la rapidité des déchargements.

M. de Coëne donne une statistique des manutentions opérées aux docks de Marseille dans un espace de douze années :

Débarquements et embarquements.	20.683.788 *t*
Mises en magasin	2.747.744
Sorties	2.754.184
Expéditions par chemin de fer.	7.237.534
Arrivage par chemin de fer	3.703.142

On peut opérer le déchargement et le chargement de 14 000 *t* de marchandises par jour sur un développement de quais de 3 279 *m*.

Les docks anglais

Ces docks ont été si souvent décrits que M. de Coëne croit devoir ne s'y arrêter qu'un instant. Ils ont été créés plus d'un siècle avant les nôtres, ce qui explique pourquoi certains d'entre eux laissent beaucoup à désirer au point de vue du raccordement avec les chemins de fer.

Certains docks neufs comme Tilbury-Docks sont bien desservis par des voies ferrées ; mais Tilbury n'est véritablement qu'un port de transbordement dont Londres est l'entrepôt. Toutefois, comme port de transit et de grande vitesse, ce port est une installation des plus remarquables ; il est éclairé à l'électricité et muni d'un outillage perfectionné.

Les docks les plus récents de Liverpool échappent à cette critique. En résumé, les docks anglais sont moins bien disposés que les docks de Bremer-Haven et de Hambourg.

Port d'Anvers

Le port d'Anvers, bien aménagé comme port de transit, laisse beaucoup à désirer comme port d'entrepôt.

Il n'y a donc rien de particulier à signaler et peu de choses à imiter. Ce qui fait sa fortune, c'est son admirable position géographique, le nombre considérable de lignes de navigation qui rayonnent dans tous les pays du monde et permettent l'exportation des houilles, des charbons et du fer des produits de Belgique et d'Allemagne.

Port de Hambourg

Il y existe partout aujourd'hui des appareils mécaniques de déchargement, des hangars, des magasins, des voies ferrées sur tous les quais, de sorte que l'on peut expédier par rivière, par canal ou par chemin de fer. Il en résulte une grande économie de main-d'œuvre et de frais de manutention. Le port de Hambourg, sans encombrement, peut suffire avec 11 000 *m* de quais pour un tonnage à l'entrée de 4 500 000 *t;* grâce à l'outillage parfait et à l'administration qui dirige seule l'admirable centre d'industrie que forme le port de Hambourg, vu la rapidité des manutentions, l'éclairage électrique permet aux navires pressés de travailler la nuit comme en plein jour.

Port de Bremer-Haven

Des travaux très importants ont été exécutés pour améliorer la navigation du Weser, de la ville de Brême à Brême-Haven. Les dispositions des quais, des hangars de reconnaissance et des magasins-entrepôts sont prises de telle manière que la marchandise, une fois mise sous hangar à l'abri, est reconnue, pesée et échantillonnée, pour être aussitôt après

chargée sur wagon, en voiture ou en péniche, ou remise en magasin. Tout cela mécaniquement. Pas de temps perdu et une méthode parfaite dans toutes les opérations.

A Brême, le chargement des charbons à bord se fait par wagon complet au moyen d'une grue versant dans une trémie placée à bord du navire. Le prix de ce chargement est de 0,10 *f* par tonne ; l'opération dure dix minutes, et on peut faire 60 *t* à l'heure.

Port de Rouen

Le seul point particulier sur lequel M. de Coëne appelle l'attention est la disposition appliquée pour le bassin au pétrole, qui, isolé de tous les côtés, est séparé du port par un barrage flottant en tôle, qui assure le port contre tout accident en cas d'incendie.

Le nombre d'appareils mécaniques est considérable au port de Rouen. Il existe 10 grues hydrauliques avec un réseau de conduites de 3 820 *m*, 14 grues à vapeur, 2 grues fixes de 30 *t;* 32 grues sur ponton mobile qui peuvent se mouvoir par une hélice mise en mouvement en désembrayant le mécanisme de la grue.

Port du Havre

Il y a actuellement sur les nouveaux bassins des hangars et des grues hydrauliques. Les hangars, dus à M. Dalachenal, sont bien conçus; mais, malheureusement, les dispositions prises ne conviennent pas à un port d'entrepôt.

Port de Dieppe

La disposition des voies de déchargement adoptées à Dieppe permet d'isoler les manœuvres pour chaque navire, de sorte que les voies de circulation sont toujours libres à l'aller et au retour. On arrive à une rapidité et à une économie qui n'ont pas été obtenues ailleurs, en assurant l'arrivée et le départ continus des wagons, chaque navire étant considéré comme un magasin séparé et devant travailler isolément.

Port de Dunkerque

Les aménagements de ce port sont remarquables; les môles obliques des quais sont accessibles par des voies courbes sans plaques tournantes; avantage sensible sur la disposition des quais de Marseille.

C'est le port de transit par excellence, bien que manquant encore d'appareils mécaniques nécessaires et de hangars indispensables aujourd'hui.

Une question très importante à discuter est celle-ci : Faut-il des hangars avec un quai en hauteur comme dans les gares, ou faut-il des hangars à niveau des quais ?

M. de Coëne est d'avis que, dans les hangars à rez-de-chaussée, l'application de quais rend la manutention plus facile.

M. de Coëne croit devoir dire quelques mots sur les ports intérieurs et sur leur outillage.

En France, dit-il, on peut presque avancer que ces installations n'existent pas.

Ainsi à Paris, où le tonnage atteint près de 6 millions de tonnes en un point où viennent converger les canaux et plusieurs rivières canalisées, on ne rencontre pas un seul port bien aménagé, armé de grues, de voies ferrées, de magasins, de hangars. Aucune gare de Paris n'est reliée avec un port, nulle part il n'est possible de faire des transbordements directs ; il faut recourir à des camionnages très coûteux.

A Lyon, il cite, comme exemple, la gare de Perrache.

A Rouen, sur la rive droite du quai fluvial, il existe une voie en cul-de-sac, parallèle aux bords de la Seine. Or, les berges étant formées de quais à parois inclinées qui éloignent le bateau de rivière de plus de 20 *m*, l'usage des grues à vapeur est impossible.

Sur la rive gauche, au contraire, les quais sont verticaux, les bois expédiés de Dieppe par wagons viennent se débarquer facilement dans les péniches placées bord à quai.

L'étroite union des transports par chemins de fer, combinée avec les transports par eau, peut amener à des résultats économiques très importants. Il y a quelques années, une péniche mettait huit ou quinze jours pour aller de Rouen à Paris; aujourd'hui le temps de parcours n'est plus que de trois jours à la montée, deux jours à la descente.

Les aménagements du port de Francfort paraissent être le type du port intérieur.

L'Allemagne est arrivée à solidariser les intérêts des chemins de fer et de la navigation, à donner des facilités, des économies qui rejaillissent sur la fortune publique.

L'année dernière le tonnage kilométrique des voies ferrées s'est élevé à 21 milliards 900 millions; celui des canaux et rivières, à 6 milliards 200 millions : soit un total de 28 milliards de tonnes.

En France, pendant la même période, le tonnage des voies ferrées s'est élevé à 10 milliards 200 millions de tonnes ; canaux, etc., à 3 milliards 200 millions, soit 13 milliards 400 millions de tonnes.

M. le Président dit qu'il est trop tard pour ouvrir la discussion sur l'importante communication de M. de Coëne, mais qu'il la résumera en quelques mots. Le perfectionnement de l'outillage des ports est d'une importance capitale pour notre commerce, et on y arrivera par l'emploi de moyens mécaniques. La France n'occupe pas dans le mouvement commercial le rang qu'elle devrait avoir et, comme l'a montré M. de Coëne, c'est en grande partie à la mauvaise organisation de notre outillage qu'est due cette infériorité. Par sa position géographique, qui est exceptionnelle et tout à fait avantageuse, la France devrait être l'entrepôt général de l'Europe, mais il faudrait favoriser et non combattre le commerce de transit, qui ne fait qu'apporter de l'argent.

M. Gaudry dit qu'il lui parait que, même où ils existent, les moyens mécaniques de levage sont peu employés.

M. le Président fait remarquer que la question se complique du fait d'assurances.

M. Level, sans vouloir entrer dans la discussion, dit qu'il lui semble que l'infériorité de la France ne se réduit pas à l'absence de moyens mécaniques. Il faudrait aussi examiner l'importance des questions réu

nies, douanières et fiscales. M. Level demande si M. de Coëne ne pourrait pas compléter sa communication par une étude comparative de la législation fiscale de chacun des grands ports de l'Europe.

M. DE COËNE répond qu'il est prêt à faire cette étude, mais que le résultat de son expérience est que le prix qu'on paie dans les ports pour les manutentions n'est pas un obstacle, que c'est seulement une question d'utilité. Ainsi Liverpool est le port le plus cher qui existe. La supériorité commerciale de l'Angleterre tient aussi à sa flotte. En France, il n'y a plus d'armateurs ni de navires. A Marseille, on n'utilise pas les appareils gratuits, mais ceux qu'on paie, parce qu'à côté de ceux-ci existe la Société des Docks qui fait toutes les opérations pour le compte des transporteurs. Il faudrait centraliser toutes les administrations d'un port dans la même main comme cela existe à Marseille, en Allemagne et à Liverpool.

M. LE PRÉSIDENT dit que l'on reprendra cette discussion ultérieurement.

La séance est levée à onze heures un quart.

OUTILLAGE

DES

VOIES DE COMMUNICATION

PORTS, RIVIÈRES, CANAUX ET CHEMINS DE FER

PAR

M. DE COËNE

INGÉNIEUR

En 1878, j'ai présenté à la Société une étude qu'elle a bien voulu accueillir avec intérêt et qui parlait de l'outillage des grandes gares de marchandises de l'Angleterre.

Depuis cette époque, sur le continent, les transports se sont développés dans d'énormes proportions.

Les relations des ports de mer et des chemins de fer se sont beaucoup augmentées, et les transports sur les voies navigables intérieures ont pris une très grande importance.

Les congrès internationaux de navigation ont servi à montrer qu'aux luttes anciennes qui divisaient les partisans de la navigation des partisans du chemin de fer, il fallait substituer une entente dont la nécessité a été démontrée par une étude plus complète des ressources des diverses voies de communication.

On a enfin compris qu'au lieu de se combattre, les voies de communication par eau et par fer devaient s'entr'aider, se souder et se prêter un mutuel appui ;

Qu'au point de contact de ces voies, on devait créer des gares d'eau armées de magasins, d'outillages, de voies ferrées avec lesquelles le transbordement puisse s'opérer rapidement et économiquement, en évitant toute fausse manœuvre.

Je viens vous demander la permission d'ouvrir un débat sur ce sujet et de chercher à résumer, en termes généraux, les données

d'un problème auquel est attachée la prospérité du commerce, de l'industrie, de l'agriculture et des voies de communication qui contribuent à leur développement en diminuant, dans la mesure la plus grande possible, les frais accessoires qui occupent une place si importante dans les services des voies de communication et permettent ainsi de diminuer les frais de transport qui constituent toujours une partie de la valeur des marchandises et des matières premières employées par l'industrie, l'agriculture et le commerce. Économiser quelques centimes sur la manutention, rendre cette manutention rapide en réduisant le temps d'immobilisation des véhicules de transport, c'est rendre au commerce un grand service qui touche à la fortune publique.

La question dont je viens vous parler, sous son apparente modestie, constitue cependant une des opérations industrielles les plus importantes qu'il y ait et qui, jusqu'à présent, a été un peu négligée : il s'agit de l'outillage servant à effectuer les manutentions opérées en cours des transports des marchandises de toute nature qui sont véhiculées par les chemins de fer, les canaux, les navires de commerce.

La statistique, dont on a tant médit, est ici triomphante ; elle nous apprend que :

La navigation intérieure transporte en France .	23 319 70
ou près de 3 milliards de tonnes kilométriques ;	
Les navires, dans nos ports de mer, embarquent ou débarquent.	21 000 000
Les chemins de fer transportent par an. . . .	76 000 000 *t*
ou plus de 10 milliards de tonnes kilométriques.	
Soit au total.	120 319 700

On admet que chacune de ces tonnes exige, au minimum, une triple manutention. Les transports donnent donc lieu à la manœuvre de 360 millions de tonneaux, ce qui représente, au prix unitaire de 0,50 *f*, une dépense de 180 millions.

On voit donc quelle importance présente cette opération industrielle. Voyons quelle charge en argent elle impose à la marchandise :

En France, on paie environ :

500 millions par an pour les transports par chemins de fer ;
400 millions — pour la navigation maritime, soit 20 millions de tonnes à 20 *f* ;

115 millions par an par la batellerie, pour 23 millions de tonnes à 5 *f.*

Soit une somme annuelle de 1 milliard 20 millions de francs.

La manutention représente donc 18 0/0 de la dépense totale des transports.

Si à ces frais on ajoute le camionnage, on voit de suite l'importance qui s'attache à la réduction du prix de manutention pour la livraison à l'industrie ou la mise des marchandises en magasin.

De tous les pays en Europe, celui où ces travaux, jusqu'à ces derniers temps, se faisaient avec le plus d'économie et de rapidité, c'était l'Angleterre, qui a tiré, des économies ainsi réalisées, des sommes considérables qui ont servi à diminuer d'autant le prix des marchandises consommées, mises en œuvre ou entreposées pour être expédiées dans toutes les directions, et c'est ce qui a permis à l'Angleterre de rester le plus grand entrepôt du monde.

Mais au fur et à mesure que sur le continent les marchandises ont été plus nombreuses, on a senti le besoin d'atténuer les dépenses et les pertes de temps occasionnées par ces manutentions successives, et on a fait d'énormes progrès.

Permettez-moi, avant d'entrer dans le détail, de fixer votre attention sur les conséquences économiques qui peuvent ressortir des manutentions rapides, peu coûteuses, et qui permettent aussi d'éviter aux marchandises des avaries, des détériorations, des pertes de valeur qui influent beaucoup sur les prix de revient.

Il y a à peine quelques années, pour le déchargement des marchandises importées par navires, le nombre de jours que l'on offrait au destinataire, pour décharger des navires de 1 200 *t*, était de dix à douze jours. Aujourd'hui, ce délai est réduit à trois jours; de sorte que l'on gagne sur le temps sept jours, soit 200 0/0.

Cette économie a une répercussion sur le prix des marchandises. Lorsqu'une marchandise est mise à votre disposition rapidement, plus vite elle peut être mobilisée, plus vite le paiement peut en être effectué. Plus vite aussi elle est à la disposition de l'industriel qui, au lieu de s'approvisionner huit, quinze jours ou un mois d'avance, s'approvisionne au dernier moment, réalisant ainsi des économies sur le capital engagé dans son industrie.

Ainsi, avant l'ouverture de Suez, il fallait quatre ou cinq mois pour aller aux Indes; aujourd'hui, on met vingt jours. Pour venir d'Amérique en France en 1830, la traversée exigeait trente jours;

aujourd'hui elle demande huit jours. De Rio-Janeiro, en 1830, on mettait mille cent cinquante-deux heures, aujourd'hui il ne faut plus que trois cents heures. De Buenos-Ayres, de mille sept cent cinquante heures, le voyage est réduit aujourd'hui à quatre cents heures.

Cette diminution du temps de transport a transformé le monde. En même temps qu'on arrive quatre ou cinq fois plus vite qu'autrefois, le prix du fret s'est abaissé dans la même proportion.

Le prix des marchandises a diminué, et, malgré l'abaissement de la valeur de l'argent, les choses nécesssaires à la vie, comme le blé par exemple, n'ont pas augmenté depuis un siècle.

Autrefois, la marchandise arrivait par petites quantités ; les voitures portaient chacune quelques tonnes, et arrivaient presque isolément; les navires et les bateaux de rivière étaient de petites dimensions; les navires de mer étaient généralement de 2, 3 ou 400 *t;* aujourd'hui les navires de 2, 3 et 4 000 *t* ne sont plus extraordinaires.

Les bateaux de rivière augmentent aussi de capacité, et on emploie sur la Seine des bateaux de 1 000 à 1 200 *t*, et on prévoit déjà des bateaux de 1 500 *t* comme sur le Mississipi. Les chemins de fer ont des véhicules plus lourds que les anciens roulages. Les trains complets tendent à être employés de plus en plus; les wagons de 10 *t* paraissent insuffisants et les Américains, pour économiser des frais de transport, recourent à l'emploi de wagons de 30 *t* de capacité. Ces arrivages viennent donc par grandes masses; il faut charger ou décharger ces grandes masses avec rapidité; le navire de 2 000 *t* n'accorde que cinq jours de planches; il faut mettre en magasin, ou charger sur voitures ou sur wagons, ces grandes masses.

Les wagons déchargent des trains entiers dans les bateaux de rivière et dans les navires, ou réciproquement.

Il faut, pour manutentionner ces grandes masses, des machines, des voies, des appareils variés, qui constituent l'appareillage moderne.

L'Angleterre, la première, a commencé à armer certains quais des ports de voies ferrées, de docks, de hangars, de grues très nombreuses, de manière à substituer à une main-d'œuvre de plus en plus élevée la manutention mécanique.

De tous les côtés en Europe, aujourd'hui, on fait de grands efforts pour arriver à atténuer aussi ces dépenses. Gênes, Trieste, Hambourg, Anvers, Lisbonne, Barcelone, Pasajes, sont munis

ou vont être munis prochainement de moyens perfectionnés pour la manutention des marchandises et leur mise en magasin.

Nos ports français sont aussi, pour la plus grande partie, armés de voies ferrées sur les quais ; mais l'outillage est loin d'être complet et de répondre aux besoins de plus en plus pressants du commerce.

L'outillage des ports a donc pris, depuis plusieurs années, une importance capitale dans les préoccupations de tous ceux qui s'inquiètent de la prospérité du commerce maritime. L'intensité du trafic, la valeur prise par les économies de temps dans les opérations maritimes, sont autant de causes qui ont contribué à considérer l'outillage comme un organe essentiel des ports.

Or, que faut-il entendre par l'outillage d'un port de commerce ? C'est l'ensemble des organes et engins qui ne paraissent pas nécessaires à l'existence du trafic maritime, mais qui facilitent tellement les opérations, les rendent si rapides, si peu coûteuses, que les conditions de l'exploitation d'un port en sont transformées.

Les cabestans qui accélèrent la manœuvre des navires, les appareils mécaniques qui simplifient la manœuvre des écluses, les grues qui opèrent le déchargement des marchandises, les hangars qui les abritent momentanément, les magasins qui les mobilisent, les voies ferrées, les agencements spéciaux nécessaires à certains commerces particuliers, les engins de radoub qui permettent aux transporteurs de se réparer et de se remettre en état pour reprendre leur navigation, sont autant d'organes aujourd'hui indispensables à la vie d'un port de commerce, et qui constituent son outillage commercial.

Dans les ports étrangers, ces différentes parties d'un même tout sont placées sous une direction unique et forment une seule et même administration. C'est certainement là qu'il faut chercher la cause principale pour laquelle l'exploitation des ports de commerce est plus avancée à l'étranger. Le constructeur d'un port qui ne prévoit pas les instruments de radoub nécessaires, les engins mécaniques, les voies ferrées des quais, les hangars, les engins de manutention, les magasins et docks, ressemble à un ingénieur qui édifierait une magnifique filature sans prévoir l'outillage pour la mise en œuvre des machines qui doivent filer le coton.

Les difficultés que font naître, dans nos ports français, les divisions d'attributions de quatre ou cinq administrations sont innombrables, alors que l'agencement général de tout l'outillage commercial devient facile et aisé lorsque tout est réuni dans une

main unique. Ainsi les ports anglais régis et administrés par des corporations ou des Compagnies, Anvers, dont l'exploitation est dans les mains de la municipalité, Pasajes, Bilbao, Trieste, Barcelone, depuis que tout y est exécuté par des Compagnies,en sont autant d'exemples auxquels on peut ajouter, en France, même celui de la Compagnie des Docks de Marseille qui a été la première à doter le commerce français de quais fort bien outillés, de magasins vastes et bien disposés, qui, bien que datant de trente années, peuvent être signalés comme des modèles.

Or, l'outillage profite non seulement aux navires, mais encore aux commerçants; il est l'auxiliaire indispensable du port; il forme un des éléments d'économie pour la construction. Un port bien outillé peut quintupler l'utilisation des quais et des terre-pleins et, par suite, diminuer le développement des quais et des ouvrages maritimes si dispendieux à établir.

Le désintéressement que l'État, constructeur du port, est obligé de professer à l'égard de l'établissement de cet outillage, auxiliaire indispensable de l'exploitation, est une des causes d'infériorité des ports français. Dans ces questions, on peut poser en principe, en effet, et nous pensons l'avoir démontré, que les ports de commerce ne peuvent être convenablement outillés et exploités que par celui-là même qui, chargé de les construire, a un intérêt direct à diminuer les travaux à exécuter et à porter au maximum d'utilisation les quais existants, qui est intéressé au développement du commerce et aux entreprises de navigation.

On a souvent vu que, dans les projets, il fallait non seulement prévoir les travaux du port, mais encore prévoir l'outillage. C'est ce que j'avais déjà dit en 1874, lors de l'enquête sur les canaux.

A l'avenir, disais-je alors, nous voudrions que M. le Ministre n'acceptât jamais un projet de port ou de simple bassin dans un port, sans qu'à côté de ce projet la question d'outillage ne fût traitée de la façon la plus complète.

Un port de mer, sans voies ferrées avec lesquelles on peut faire des transports économiques, sans grues de déchargement sans lesquelles les manutentions sont difficiles, présente de sérieux inconvénients. Il coûte dix fois plus cher que s'il est muni de voies et d'engins qui permettent l'enlèvement et le déchargement rapide des marchandises. De cette alliance de moyens mécaniques et de voies ferrées ressort une économie toute nouvelle dans les transactions commerciales. Pour nous servir d'une com-

paraison saisissante, le port de mer sans outils et le port bien outillé sont comme la route ordinaire et la voie ferrée.

Mais, il y a plus, c'est que, dans un port bien aménagé, le fret coûtera 1,5 *f* à 2 *f* meilleur marché que dans un port qui n'aura pas d'aménagements, et cela s'explique parce que la manutention se fera deux fois plus vite et deux fois moins chèrement dans l'un que dans l'autre.

Maintenant que la navigation à vapeur prend de l'extension, les jours de planche, c'est-à-dire le temps d'arrêt au port, se calcule à l'heure. Les frais s'élèvent à 50 *f* par heure pour des navires de 1 000 *t* et cela s'explique par la valeur du capital immobilisé.

Pour justifier, par des chiffres, l'importance de l'outillage d'un port, nous croyons utile de citer un exemple : à Dieppe, une place à quai, concédée à un industriel sur le bassin Bérigny, reçoit et expédie par an 125 000 *t* de marchandises. Cette place à quai a 70 *m* de longueur, c'est donc $\frac{125\,000}{10} = 1\,785\,t$ que chaque mètre courant de quai reçoit annuellement.

Au Havre, l'étendue des bassins est de 10 000 *m* courants de quai à 1 785 *t;* cela fait un total de 17 850 000 *t.*

Or, le Havre ne reçoit et n'expédie que 1 500 000 *t* et il est insuffisant bien souvent, et cette insuffisance tient à l'absence des moyens de déchargement et d'enlèvement. Les 70 *m* du quai de Dieppe, dont nous parlons, sont au contraire desservis par des voies ferrées et des grues à vapeur.

On a répété la même chose au Congrès maritime de l'Exposition de Paris.

Voici comment s'exprimait M. l'Ingénieur du port du Havre, M. Desprez : « Le Havre, qui est doté de si vastes magasins, ne » possède pas encore, sur le bord même des quais, ce qui serait si » nécessaire pour diminuer les frais de magasinage et faciliter la » création du *commerce d'exportation;* il ne possède pas d'éléva- » teurs à grains ; il n'y a pas de quais installés pour le charbon, » pas de bassins à pétrole. »

Il termine ainsi :

« On ne devrait pas plus, à la fin du XIX^e^ siècle, ouvrir à la na- » vigation un bassin sans qu'il soit muni de tous les engins et » de toutes les installations que le progrès réclame aujourd'hui, » qu'inaugurer un chemin de fer sans que ses gares renferment » tout ce qui est nécessaire à une prompte et bonne exploitation. »

Depuis quelques années l'attention a donc été éveillée en France

et en Europe sur la nécessité d'établir des relations faciles entre les voies de communication par eau et par chemin de fer. Déjà, sur la plupart des terre-pleins de beaucoup de nos ports de mer, des voies ferrées et un outillage de déchargement ont été placés pour permettre le transbordement rapide et économique des marchandises du wagon dans les navires et des navires sur les wagons.

Sur les quais fluviaux et sur les canaux intérieurs il n'existe presque rien aujourd'hui.

Tous les pays étrangers ont fait de grands progrès dans cette voie, et nous devons citer particulièrement l'exemple de Hambourg. Il y a quelques années, à Hambourg, les quais étant isolés des voies ferrées obligeaient à un double transbordement; il fallait décharger les marchandises dans des allèges, puis les porter aux gares au moyen de camionnages onéreux. Aujourd'hui tout cela est changé, et, à cet égard, on peut dire que les progrès ont été énormes.

A Hambourg, aujourd'hui, il n'y a plus un bassin, pas un seul quai qui ne soit abordable par un wagon, de sorte que les navires non seulement peuvent recevoir, en transbordement direct, les marchandises des bateaux de rivière, mais ce transbordement peut s'effectuer aussi sur les wagons de chemin de fer. Dans les points, où cela a été reconnu nécessaire, le déchargement des navires s'opère directement du navire dans les magasins à étages, où les marchandises peuvent être classées et entreposées très rapidement et directement à la machine avec des frais de manutention excessivement réduits, avec un ordre, une méthode, un soin qui évitent les pertes de temps et les avaries pour la marchandise.

La concurrence qui s'exerce partout force à économiser sur le séjour des navires et des wagons en service ; le commerce cherche à mobiliser le plus rapidement la valeur des marchandises qu'il reçoit, de manière que le capital qu'elles représentent puisse servir de gage à de nouvelles affaires.

L'industrie arrive ainsi à diminuer le capital inactif qu'elle employait autrefois; elle profite des intérêts économisés par l'immobilisation de la valeur des marchandises non mises en œuvre.

Cette nécessité explique la révolution universelle opérée par les transports maritimes, où, à la vitesse des transports, est venu se joindre un abaissement vraiment extraordinaire du prix du fret. Ainsi, aujourd'hui, la marchandise remise le samedi à New-York peut être rendue au Havre en huit jours, après avoir parcouru

une distance de 5 600 *km* soit une vitesse de $\frac{5\,600}{8} = 700$ *km* par jour, soit une vitesse moyenne de 30 *km* à l'heure ; et le prix de la tonne kilométrique s'est abaissé souvent à moins de 5 millimes par tonne kilométrique. Dans nos transports intérieurs, au contraire, la vitesse des transports de marchandises n'atteint que 4 à 5 *km* par heure et le prix des transports varie de 0,02 *f* à 0,04 *f* ou 0,05 *f* par tonne kilométrique.

Les résultats obtenus depuis l'ouverture à la navigation du canal de Suez sont aussi un exemple de ce qui a été produit par suite de la diminution du temps dans la longueur du trajet d'Europe en Asie et dans le prix du fret.

Il ressort de ces vitesses excessives dans les transports par navires le besoin de décharger, avec une extrême rapidité, les marchandises pour les mettre en magasin, et pour ne ne pas perdre l'intérêt des sommes qu'elles représentent.

Poussés par ces vitesses de transport, on a reconnu que, dans les ports de mer, il fallait aussi décharger rapidement les marchandises, en débarrasser le quai d'arrivage et les diriger de suite où elles peuvent être utilisées par l'industriel ou mobilisées sous forme de warrants.

Le chiffre considérable de la valeur du capital engagé dans le véhicule navire est aussi une raison de cette activité extraordinaire, que l'on observe dans les ports de mer pour débarrasser les navires de leur chargement.

Ces nécessités dont la marine à vapeur a donné, la première, le signal, se sont étendues aussi aux navires à voiles, dont le nombre de jours de planches est sensiblement réduit sur celui qu'il était autrefois.

Déjà en Angleterre, et depuis longtemps, les chemins de fer ont compris l'utilité de cette rapidité pour le transport des marchandises — et il est de règle qu'il ne faut pas laisser les marchandises chargées en wagons. La règle presque générale est qu'il faut, autant que possible, que ces marchandises soient chargées, transportées et déchargées rapidement ; de là est venu le prodigieux essor des chemins de fer en Angleterre, et qui explique pourquoi, malgré leurs prix élevés de transport, ils peuvent lutter cependant avec la navigation. Il en ressort d'ailleurs, comme je l'ai indiqué dans ma note de 1878, une économie sensible sur le matériel de transport, une économie sur la surface occupée par les gares et aussi, bien souvent, une économie sensible sur les

camionnages qui se trouvent réduits autant que possible, lorsqu'on peut faire pénétrer le véhicule jusqu'au centre de la consommation, de manière à réduire les frais de transport en voiture qui sont toujours élevés et surtout lents. Cette règle, aujourd'hui, commence à êtrecomprise par les transports de la navigation intérieure; et quand on compare la vitesse des transports d'aujourd'hui avec la vitesse des transports d'autrefois, on reconnaît que l'on a fait d'énormes progrès qui s'accentuent tous les jours.

De ces constatations sur l'extrême rapidité des transports comparés avec les transports d'autrefois, il ressort un fait économique considérable et qui explique pourquoi en Angleterre l'industrie peut se faire avec un capital beaucoup plus réduit que dans les autres pays où cette loi a été méconnue pendant longtemps, mais dont les effets sont sensibles aujourd'hui, où la valeur du temps a pris une si grande importance dans les transactions commerciales et industrielles.

Un exemple me paraît nécessaire à citer pour bien fixer les idées sur ces questions d'une importance énorme et qui ont une si grande influence sur le développement de la richesse publique. Supposons que nous ayons un chemin de fer à construire dont le capital d'établissement est de 600 millions; si on peut exécuter ce chemin en quatre ans, à raison de 150 millions par an, l'intérêt du capital perdu sera environ de 60 millions. Si au contraire cette construction exige dix années, le capital perdu en intérêts sera de 150 millions; j'aurai augmenté mon capital à rémunérer de 15 0/0, j'aurai perdu pendant les six années supplémentaires le produit à 5 0/0 de mon capital de 600 millions — 30 millions — soit 180 millions, soit une perte totale de $90 + 180 = 270$ millions, soit 45 0/0 de perte en exécutant les travaux en dix ans au lieu de quatre. Cet exemple, que j'ai voulu rendre très saillant en me servant d'un gros chiffre, se représente pour toutes les industries diverses et explique mieux que tous les raisonnements l'importance du temps gagné dans les transactions commerciales et industrielles.

Or, ce besoin de vitesse que j'ai indiqué pour les transports maritimes a commencé à se faire sentir par les chemins de fer et par les canaux; on comprend qu'il faut au point de jonction des chemins de fer et des canaux des moyens de chargement et de déchargement rapides, des outillages perfectionnés, une organisation industrielle bien entendue pour satisfaire aux exigences de la concurrence moderne.

Les Congrès de navigation intérieure qui se sont tenus à

Bruxelles, à Vienne, à Francfort, à Paris et à Manchester ont appelé l'attention sur ces questions de navigation intérieure et sur les relations étroites qui doivent lier les chemins de fer et les voies de navigation.

Partout on a reconnu que là où il y a une navigation très active, il y a des transports considérables par chemins de fer; — les deux voies de transport ne se nuisent pas, elles s'entr'aident, au contraire : de la prospérité de l'une découle le développement de l'autre, — l'industrie, le commerce, l'agriculture profitent les uns et les autres de ces voies, et de l'économie qu'elles réalisent naissent le développement des transports.

Des matières inertes et impossibles à transporter deviennent tout à coup des agents commerciaux importants; les minerais, les chaux, les pierres à bâtir, les matières premières ouvrent un champ nouveau à l'industrie et lui créent des besoins nouveaux.

Autour de ces nouveaux centres d'activité industrielle s'établissent des industries accessoires, la population s'agglomère et les transports en voyageurs et en marchandises diverses deviennent des aliments nouveaux et importants.

Lorsque l'on examine la statistique des transports de nos voies de communication, on voit que le trafic d'un chemin de fer est surtout important là où il y a une voie navigable parallèle, que les deux modes de transport s'entr'aident dans leur développement, surtout si les relations de ces voies de communication sont entièrement unies.

La visite de l'Allemagne doit être pour nous un enseignement précieux, et permettez-moi à cet égard de rappeler le vœu qui a été émis au Congrès international de navigation intérieure, à Manchester.

Je vais maintenant examiner très rapidement les ports principaux de France et de l'étranger avant d'arriver à la conclusion de mon étude sur l'outillage. Je vais commencer par le port de Marseille.

Outillage du port de Marseille.

Le port de Marseille, au point de vue de l'outillage, doit être divisé en trois parties :

1re partie, le vieux port et le bassin de la Joliette;

2e partie, occupée par les docks de Marseille;

3e partie, occupée par le commerce libre.

Sur la première partie, il n'y a ni hangars, ni grues, ni voies ferrées. Ces quais laissent donc beaucoup à désirer au point de vue de la manutention.

Dans la deuxième partie, les docks de Marseille, qui datent de 1860.

Le déchargement des marchandises, leur reconnaissance s'effectuent sous des hangars voisins des quais, au moyen de grues fixes mues hydrauliquement.

Ces magasins, fort bien disposés, laissent un peu à désirer au point de vue des installations hydrauliques qui sont fixes et qui ne permettent pas, comme on le fait aujourd'hui dans les ports nouvellement aménagés, de déplacer les grues hydrauliques et les mettre juste en face des panneaux des navires.

Malgré cette imperfection, déjà modifiée en partie, les docks de Marseille, dont nous donnons le plan *(fig. 1, pl. 34)* forment une partie très importante des installations du port et constituent pour cette ville l'organisation la plus parfaite qu'il y ait en France, mais qui, comme nous le verrons plus tard, a été sensiblement modifiée par les installations plus modernes de Brême et de Hambourg où, dans les dispositions des appareils mécaniques, on a profité de l'expérience acquise dans les autres ports et où il existe une méthode parfaite dans le déchargement des navires, qui permet indifféremment la mise en magasin, le chargement et le déchargement des wagons et au besoin le transbordement dans des péniches, et enfin la manutention des wagons par changements de voie.

La troisième partie du port de Marseille est le port libre, qui a été installé par la Chambre de commerce.

Sur cette partie, il existe de simples hangars sans magasins, de sorte que la marchandise entreposée doit être conservée avec des frais considérables et constitue une infériorité manifeste sur les docks, où les manutentions, de quelque nature qu'elles soient, peuvent être exécutées.

A Marseille, sur les quais libres, il nous a semblé aussi que le transbordement des marchandises du navire dans le wagon et du hangar sur le wagon ne se fait pas avec toutes les facilités possibles. La mise en wagon des marchandises remisées après déchargement exige encore une manœuvre assez coûteuse qui lui est évitée dans les autres ports où le chargement ne s'opère plus à la main, mais par des grues spéciales placées sur la face du hangar opposé aux quais.

En outre, dans les installations les plus nouvelles, à Hambourg, la grue peut toujours venir chercher la marchandise sous le hangar, à l'abri de la pluie, qui, dans la mauvaise saison et dans les contrées pluvieuses, peut présenter des inconvénients graves au point de vue de la conservation des marchandises.

La gare des marchandises voisine des docks, à Marseille, ne possède pas de grues mécaniques, comme dans les gares de marchandises anglaises ou belges; nous croyons qu'à cet égard, au point de vue économique de la main-d'œuvre, de la rapidité des déchargements, il y aurait lieu de modifier une disposition qui entraîne des dépenses supplémentaires et un ralentissement de manutention. Nous pensons aussi que l'on devrait étendre le réseau des voies ferrées et des appareils mécaniques sur les quais du Vieux-Port et sur les quais de la Joliette.

On aurait ainsi, dans bien des cas, le moyen d'éviter des manutentions onéreuses et des camionnages coûteux.

Peut-être y aurait-il utilité dans certains points de ces quais de Marseille où les hangars sont placés devant les navires, exigeant des manutentions très rapides, de faire des hangars à deux étages: le rez-de-chaussée servant à recevoir les marchandises à expédier, et, au premier étage, des marchandises d'arrivage, dont le chargement dans les wagons serait facilité par la différence de hauteur du plancher du premier étage au plancher du wagon. Une même longueur de quai ayant ainsi devant elle une double surface de dépôt, tout encombrement disparaîtrait et il y aurait une séparation complète entre les arrivages et les expéditions, ce qui est toujours d'un grand intérêt pour la bonne direction des marchandises et permet d'éviter les erreurs. Un des hangars nouveaux placés sur le quai Nord du bassin des docks de Marseille a été construit ainsi dans ces dernières années.

A Marseille, l'absence de voies navigables aboutissant dans les bassins, prive ce port des communications fluviales.

Des projets sont à l'étude, paraît-il, pour en assurer la réalisation. Dans ces conditions, pour certaines natures de marchandises à très bas prix et venant à de longues distances, l'aide des voies navigables pourrait être d'un grand secours pour Marseille, et lui donner de grands avantages sur les ports concurrents de la Méditerranée.

Résultats à obtenir par l'outillage sur les quais d'un port.

Pour donner une idée bien saisissante des résultats que l'on peut obtenir avec l'emploi des moyens mécaniques, je vous demande la permission de mettre sous vos yeux le résumé des manutentions opérées aux docks de Marseille dans un espace de douze années :

Débarquements et embarquements . .	20 653 788 *t*
Mises en magasin.	2 747 744
Sorties du magasin.	2 754 184
Expédiées par chemin de fer.	7 227 534
Arrivages par chemin de fer.	3 703 142

La moyenne des manutentions annuelles a donc été :

Débarquements et embarquements . .	1 721 000 *t*
Mises en magasin	228 970
Sorties	228 950
Expédiées par chemin de fer.	600 600
Arrivages par chemin de fer	325 000
La puissance motrice des grues est de. . .	250 chevaux.
Les appareils de radoub emploient	1 200 chevaux.

Le dock de Marseille est aménagé de manière à pouvoir charger et décharger par jour *14 000 t* de marchandises pour charger *1 400* wagons et *décharger* 800 wagons.

Le déchargement et le chargement de 14 000 *t* de marchandises sont opérés sur un développement de quais de 3 279 *m*.

De sorte que, par jour, on peut décharger et charger par mètre courant $\frac{14\,000}{3\,200} = 4\,300$ *t* et par an $4\,300 \times 300 = 1\,290$ *t* de marchandises.

De sorte que si tous les quais d'un port comme le Havre étaient aménagés de la même manière comme ce port possède 14 000 *m* de longueur de quais, il pourrait suffire à 17 060 000 *t*.

Au port de Marseille il y a *13 km* de quais utilisables aux opérations d'embarquement et de débarquement, ce qui représente au taux de 1 200 *t* par mètre courant 15 600 000 *t*.

Le dock fait environ 2 millions de tonnes, soit $2\,000 : 3 = 666$ *t* par mètre courant. Les autres quais développant 10 *km* ne font que 300 *t* par mètre courant.

Les docks anglais.

Ces docks ont été si souvent décrits que nous ne nous y arrêterons qu'un instant.

Certains d'entre eux ont été créés plus d'un siècle avant les nôtres ; d'autres sont antérieurs à la construction des chemins de fer : c'est ce qui explique que les magasins de certains de ces établissements laissent beaucoup à désirer au point de vue de la facilité des rapports des chemins de fer et des navires, exigent des camionnages onéreux et entraînent à des dépenses exagérées.

Certains docks neufs, comme Tilbury-Docks, diffèrent des anciens ; ils sont bien desservis par des voies ferrées, mais ils peuvent seulement servir de quais de transit, n'étant pas munis de magasins, de sorte que Tilbury n'est véritablement qu'un port de transbordement pour Londres qui reste le port d'entrepôt, et n'est pas un établissement dont les dispositions puissent être recommandées dans les grandes villes de commerce. Toutefois le port de Tilbury, comme port de transit et de grande vitesse, est une installation des plus remarquables; il est éclairé à l'électricité, muni d'un outillage perfectionné. Les docks les plus récents de Londres et certains docks de Liverpool et de Birken-head échappent à cette critique ; ils permettent à la fois de mettre les marchandises sur wagon ou en magasin directement sans main-d'œuvre supplémentaire. Mais il est certain que dans leurs dispositions d'ensemble, les docks anglais sont moins bien disposés que les docks de Bremer-Haven et de Hambourg qui construits dans ces dernières années ont profité de l'expérience des autres et ont donné, tout à la fois, satisfaction au chemins de fer, à la péniche, au navire et offrent la forme type du dock moderne où toutes les manutentions peuvent se faire à couvert à la machine et sans qu'il soit nécessaire à l'homme de toucher la marchandise autrement que pour la conditionner et la recevoir dans les magasins aux étages les plus élevés où elle doit être empilée.

Quoi qu'il en soit cependant de l'imperfection de certains docks anglais, il n'en est pas moins vrai que l'Angleterre constitue la plus grande place commerciale du monde, qu'elle doit cette situation à ses habitudes commerciales, à son génie commercial, à la tradition deux fois séculaire de son commerce, à son immense marine et aux facilités qui sont données pour la mobilisation de la valeur des marchandises comme agent de crédit et qui font de l'Angleterre le plus vaste entrepôt du continent.

Port d'Anvers.

Le port d'Anvers, bien aménagé comme port de transit, laisse beaucoup à désirer comme port d'entrepôt. Il n'existe pas d'entrepôt voisin des quais de l'Escaut et des bassins ; de sorte que la marchandise à mettre en entrepôt exige une manutention coûteuse et des camionnages onéreux.

Nous n'avons donc rien de particulier à signaler à Anvers, et seulement peu de choses à imiter, si ce n'était donc l'admirable position géographique d'Anvers, les nombreuses lignes de fer qui convergent vers la Hollande, la Belgique, la France et l'Allemagne, et les canaux qui se dirigent dans tous les sens, et qui en font de redoutables concurrents pour les expéditions de transit, il n'y aurait rien à prendre dans l'étude de l'outillage des ports de commerce.

Ce qui fait la fortune d'Anvers, c'est le nombre considérable de lignes de navigation qui rayonnent dans tous les pays du monde ; il y a eu effet à Anvers 350 départs de paquebots par mois qui permettent aux marchandises, venant de très grandes distances, d'être assurées, dans un délai très court, de trouver le moyen d'être expédiées sur une partie quelconque du globe, et permet d'éviter toute perte de temps et assure à la marchandise le moyen d'être transmise le plus rapidement possible ; un des grands avantages du port d'Anvers, c'est aussi l'absence de l'octroi.

L'exportation des charbons, des houilles, du fer et des produits de la Belgique et de l'Allemagne est un aliment puissant pour assurer aux navires un fret de retour qui a aidé le port d'Anvers à acquérir le grand développement qu'il a pris depuis quelques années.

Port de Hambourg.

Il y a quelques années, lorsque je suis allé à Hambourg, la manutention directe du chemin de fer au navire était une exception elle se faisait sur un seul quai de quelques centaines de mètres. La plupart des navires étaient reçus en plein fleuve, devaient débarquer leurs marchandises dans des bateaux venant accoster le navire, pour être chargées en wagon ou portées pour être mises en magasin. Ces marchandises, elles, devaient être reprises une seconde fois et camionnées.

De là un grand ralentissement dans les manutentions, un dé-

sordre, des avaries de mouille, des pertes considérables qui entraînaient à des dépenses et à de grands retards pour les navires.

Aujourd'hui, il nous faut le reconnaître, la transformation est complète. Partout des appareils mécaniques de déchargement, des hangars, des magasins pour abriter les marchandises et les mettre complètement à l'abri de la pluie et des avaries, des voies ferrées sur tous les quais accostés par les navires, de sorte que l'on peut expédier par rivière, canal ou chemin de fer; il en résulte une grande économie de main-d'œuvre, de frais de manutention, ce qui est particulièrement remarquable et vient à l'appui de ce que nous avons déjà dit dans nos considérations générales : une économie sur la construction des travaux du port. C'est la démonstration par le fait de cette vérité absolue que j'avais d'ailleurs déjà signalée dans une étude sur les grandes gares à marchandises en Angleterre : c'est que l'utilisation des quais d'un port ou d'une gare est décuplée par l'emploi des moyens mécaniques et d'un outillage complet de voies ferrées. C'est ainsi que le port de Hambourg, sans encombrement, peut suffire avec **11 000** *m* de quais pour un tonnage de **4 500 000** *t* à l'entrée, tandis que, quelquefois, l'encombrement arrive au Havre avec des quais d'un développement de **14 000** *m*, d'où la conséquence logique que ce ne peut être que par un outillage parfait que l'on peut arriver à en augmenter la faculté de réception des marchandises. D'où aussi l'explication de l'augmentation prodigieuse du port de Hambourg, malgré les conditions très défectueuses des passes de l'Elbe, qui n'est profond que jusqu'à **40** *km* et qui oblige les navires à être allégés pour arriver à Hambourg. Mais les dispositions des quais de Hambourg sont si admirablement comprises, les aménagements des voies ferrées et de l'outillage sont si parfaits que le retard apporté par les défectuosités des accès est racheté par la rapidité des manutentions, le perfectionnement, le soin apporté à l'emmagasinage des marchandises, et, nous devons le dire, car nous y reviendrons plus tard, à l'administration qui dirige seule l'admirable centre d'industrie que forme le port de Hambourg.

Dans les dessins que nous donnons de ces dispositions sur plusieurs quais (voir les fig. 9, 10, 11, 12, 13 et 14, pl. 35), on trouvera toutes les qualités que l'on ne trouve dans aucun port concurrent.

Rapidité des manutentions par les quais, possibilité de prendre les marchandises à bord des navires, les mettre sur quai, sur péniche, sur wagon et même en magasin; de sorte que, un navire

où la marchandise arrive souvent par diverses destinations, il est possible de faire, en une seule fois, la répartition suivant les besoins des destinataires dont le nombre est souvent grand dans les expéditions énormes que l'on fait aujourd'hui dans les immenses navires qui font le transport sur la mer. Par suite de l'éclairage électrique qui est répandu à profusion, on offre la possibilité pour un navire pressé, d'accomplir le débarquement à la lumière électrique et de travailler la nuit comme en plein jour et obtenir ainsi une accélération de vitesse souvent nécessaire pour les opérations de transport où le véhicule est à un prix si élevé qu'on a souvent besoin, à cause de la pénurie des navires, d'en disposer le plus vite possible dans certaines saisons où le fret abonde.

La manutention économique et rapide n'est pas assurée seulement pour la marchandise débarquée sur le quai pour être reconnue; mais une fois reconnue, elle est reprise par d'autres grues qui la placent sur wagons, sur péniches, sur camions, rapidement et économiquement, servant tout à la fois les intérêts du navire, du chemin de fer, des bateaux de rivière et du négociant qui, tous, sont intéressés à ce que les frets soient le moins élevés possible, frets qui ne peuvent être bas qu'à la condition que le véhicule de transport soit le moins possible inoccupé, puisque, outil industriel, son temps perdu est calculé à un minimum de 10 0/0; que quelquefois, et cela est nécessaire de le répéter, à cause de la variabilité dans les arrivages de marchandises, il y a un intérêt économique de premier ordre à mener les opérations avec une grande rapidité; car il est bon de le rappeler ici, bien que nous l'ayons déjà dit précédemment, la raison du bas prix du fret maritime tient en grande partie à la rapidité des transports.

Le développement des communications par chemins de fer, de même que l'accroissement de la rapidité des transports sur canaux a aussi apporté, pour ce dernier mode de transports, un développement énorme, et, ce qui paraît singulier au premier abord, c'est que à mesure que sur les canaux on a fait voyager plus vite la marchandise, cette marchandise a obtenu des frets de plus en plus bas et permis ainsi d'étendre le champ des approvisionnements.

Cette opinion qui, au premier abord, paraît paradoxale et contraire aux lois scientifiques, ne se réalise-t-elle pas sous nos yeux?

Depuis que de Rouen à Paris la navigation a pu faire les transports en trente heures, elle a doublé son trafic et diminué de 60 0/0 ses prix de transport.

Or, pendant que la Seine accroissait son trafic, grâce à la vitesse de marche, sur le canal du Midi, où les marchandises vont très lentement, la quantité de marchandise transportée sur le canal est la même qu'en 1847, avant les chemins de fer, qui, aujourd'hui, transportent dix fois plus de marchandises que sur le canal, tout en faisant payer plus cher.

La conclusion à tirer de cet exemple, c'est que l'économie du transport provient de deux éléments : la vitesse et le prix, et que le prix du transport n'est qu'un élément du résultat économique du transport.

Aussi, permettez-moi de faire une digression et vous répéter ce que j'ai déjà dit en 1880, dans notre discussion sur les chemins de fer : la rapidité des transports est une source d'économie dans l'exploitation des voies navigables et des chemins de fer; le public comme les Compagnies, à l'exemple de ce qui se fait dans la navigation sur mer, devrait se mettre résolument à abandonner le système de la réception des marchandises en gare et lui substituer l'expédition à domicile qui serait pour tous une source considérable de profit en permettant de faire aboutir les gares dans l'intérieur des villes et de réduire le prix du camionnage qui est une source de dépenses considérables et de pertes de temps, ce qui permettrait de détruire enfin cette organisation si défectueuse de nos grandes gares de marchandises, où l'on ne peut substituer *la manutention mécanique à la main-d'œuvre*, si coûteuse et si difficile à obtenir aujourd'hui, au moment où, pour toutes les branches d'industrie qui exigent la force, on arrive peu à peu à substituer les machines à la main-d'œuvre.

Il faudra sans doute, pour en arriver là, détruire les vieux errements du commerce qui s'imagine pouvoir faire plus économiquement ses transports qu'un service spécialement armé pour ce genre de travail. Mais la nécessité nous y forcera dans un avenir peu éloigné.

Pour donner une idée de l'importance du port de Hambourg, je donne ci-dessous la statistique du port de Hambourg en 1889 :

STATISTIQUE DU PORT DE HAMBOURG

Tonnage à l'entrée, 4 500 000 *t.*
Tonnage des navires, entrée et sortie, 7 500 000 *t.*
Tonnage du chemin de fer, 2 800 000 *t.*
Longueur des quais, 11 450 *m*,

Longueur des hangars et magasins, 4 690 *m.*
Surface d'eau des canaux et du port, 156 *ha.*
Surface du port franc, 1 000 *ha.*
Surface d'eau, 300 *ha.*
Surface du terrain, 700 *ha.*

Navires ayant Hambourg comme port d'attache.

Vapeurs, 372 395 *t* de jauge.
Voiliers, 145 482 d°

Navires construits depuis le 18 octobre 1888.

Vapeurs, 105 100 *t.*
Voiliers, 16 490 *t.*
Bassins de radoub, 6.
Cales, 6.

Lignes principales de navigation partant de Hambourg.

Pour l'Angleterre	24	lignes.
Mer du Nord	3	—
Vers le Nord-Ouest	7	—
Vers la Norvège	3	—
La Hollande	5	—
La Belgique	4	—
La France	7	—
La mer Noire	3	—
L'Amérique du Nord	5	—
L'Amérique du Sud	5	—
Afrique	5	—
Asie	6	—
Australie	1	—
TOTAL	68	lignes.

Port de Bremer-Haven.

Des travaux très importants ont été exécutés pour améliorer la navigation du Weser, de la ville de Brême à Bremer-Haven. Ces travaux, exécutés sous la direction de M. Franzius, ont donné de magnifiques résultats qui ont fait l'objet de communications aux Congrès de Francfort et de Manchester.

Parallèlement à ces travaux, des aménagements très complets ont été exécutés dans le port de Bremer-Haven. Dans la planche 35 (fig. 1, 2, 3, 3 *bis*, 4, 4 *bis*, 5), on trouve la disposition des quais, des hangars de reconnaissance et des magasins-entrepôts ; les dispositions sont prises de telle manière que la marchandise une fois mise sous le hangar du quai, à l'abri et reconnue, pesée, échantillonnée, peut être aussitôt après chargée sur wagon, en voiture ou en péniche, ou remise en magasin, tout cela mécaniquement, de telle sorte que, sans fausse manœuvre, la marchandise peut recevoir toutes les manutentions sans être jamais reprise à mains d'homme.

A mon avis, c'est de toutes les dispositions celle qui, pour les manutentions de marchandises diverses, offre la disposition la meilleure et avec laquelle on arrive à faire les manutentions les plus économiques. Les grues, disposées au-dessus des quais, n'occupent pas de surface sur le sol et laissent à la manœuvre des wagons toute la place nécessaire. Je considère que par les dispositions pratiquées à Brême, il n'y a pas de place inutilisée, pas de temps perdu et une méthode parfaite dans les opérations. En outre, grâce à l'éclairage électrique, on peut travailler la nuit avec une lumière éclatante aussi puissante que la lumière du jour. Des voies ferrées, avec de nombreuses aiguilles, séparent les quais en tranches distinctes et permettent une manutention rapide dans l'arrivée et le départ des wagons pour chaque navire, sans encombrement et en évitant les plaques.

A Brême, on trouve aussi une disposition intéressante à signaler : c'est le chargement des charbons à bord par wagon complet. Le wagon est soulevé du quai, incliné et déchargé dans une trémie placée à bord du navire, d'où le charbon descend doucement, de manière à ne pas le briser et éviter ainsi lesdéchets de chargement. Le prix de ce chargement n'est que de 0,10 par tonne ; il s'opère au moyen d'une roue hydraulique de 30 *t*, appropriée à cet usage ; l'opération dure dix minutes, on peut faire 60 *t* à l'heure. Les machines hydrauliques et les machines électriques sont disposées dans le même bâtiment et sous la même direction des chauffeurs. *(Voir fig. 1, 2, 3, 4. Pl. 35.)*

Port de Rouen.

L'examen du plan général *(Pl. 34, fig. 2 et 5)* indique la disposition d'ensemble du port de Rouen.

Dans cet ensemble, le seul point particulier sur lequel j'appelle l'attention est la disposition appliquée pour le bassin au pétrole qui, isolé de tous les côtés, est séparé du port par un barrage flottant en tôle, qui assure le reste du port contre tout accident en cas d'incendie.

Des dispositions sont prises pour assurer le déchargement du pétrole en vrac et le rechargement au moyen de pompes sur des péniches dans des citernes. Un dock, des magasins généraux permettent aussi la réception des marchandises, mais ils laissent beaucoup à désirer au point de vue des manutentions et demandent à être remaniés. De vastes espaces restent libres pour la construction de nouveaux magasins qui peuvent être établis avec tous les perfectionnements modernes. Le nombre d'appareils mécaniques est considérable au port de Rouen. Il existe 10 grues hydrauliques, avec un réseau de conduites de 3 820 *m*, avec un accumulateur à l'extrémité; 14 grues à vapeur; 2 grues fixes de 10 *t*.

A Rouen, il existe un outil spécial et qui exige une mention particulière. Cet appareil est une grue sur ponton mobile qui peut se mouvoir par une hélice qui est mise en mouvement par le mécanisme de la grue, qui est désembrayé pour cet usage.

Cet appareil, très commode pour les transbordements, est aussi utile aux déchargements sur quais.

Il a rendu et il rend de très grands services.

Le ponton loge à son bord le mécanicien et sa famille.

Le prix de ces pontons est de 30 à 32 000 *f*.

Son enfoncement est seulement de 1,50 *m*.

Il a une longueur de 30 *m*.

Il dépense environ 200 *kg* de combustible par journée de dix heures.

Il peut servir dans les ports de rivière et dans les ports de mer et a rendu et rend encore de grands services, particulièrement pour les transbordements en rivière.

La planche 34, figure 5, donne les dispositions des grues et des hangars.

Un grave défaut aux hangars de Rouen est de ne pas être fermés, de sorte que les marchandises sont moins bien abritées et qu'elles sont difficiles à être protégées contre les déprédations auxquelles les marchandises sont exposées dans les ports.

Partout et dans tous les ports sans exception, aujourd'hui les

hangars doivent être fermés avec des portes mobiles et disposés de manière à permettre aux grues de pouvoir y amener la marchandise.

Port du Havre.

Je vous donne, fig. 6, 7, pl. 34, la disposition des hangars nouveaux avec l'indication des grues hydrauliques. Ces hangars, dus à M. Delachenal, membre de la Société, sont très bien conçus. Mais malheureusement les dispositions prises ne conviennent pas à ce port d'entrepôt. Les dispositions de Brême seraient de beaucoup préférables. Ce que l'on peut reprocher au port du Havre, c'est l'absence complète de projet d'ensemble du port, qui existe à un si grand degré dans plusieurs ports étrangers.

Port de Dieppe.

Je crois devoir rappeler, à propos de ce port, une disposition particulière que j'ai adoptée, il y a quelques années, pour le déchargement rapide sur wagons des marchandises en vrac, pierres cassées, minerais, sels, charbons.

La disposition adoptée à Dieppe permet d'isoler les manœuvres pour chaque navire, de manière que les voies de circulation soient toujours libres à l'aller et au retour; on arrive ainsi à une rapidité remarquable pour le déchargement qui n'est pas suspendu une seule minute et permet d'atteindre des chiffres que l'on ne pourrait jamais arriver à faire autrement.

Le passage des wagons vides, des wagons pleins, sur les voies de chargement et de déchargement peut s'opérer à la machine, et on arrive ainsi à une rapidité et une économie qui n'ont jamais été obtenues. C'est une disposition à recommander pour les importations de marchandises en vrac.

A propos de cette disposition, je crois devoir faire une remarque générale sur les dispositions à adopter pour les voies ferrées le long des quais : pour pouvoir travailler d'une manière méthodique sur les quais d'un port sans jamais arrêter les déchargements et les travaux des grues, il faut assurer l'arrivée et le départ continus des wagons; il faut que chaque navire soit considéré comme un magasin séparé et devant travailler isolément.

On arrive ainsi, en divisant le quai en portions de 100 *m* de longueur, à constituer un atelier de manutentions très rapides ne

gênant jamais son voisin, et on peut faire un énorme service de chargement dans ces conditions.

C'est à l'oubli de ces conditions d'application du système que l'on doit attribuer les échecs qui se sont opposés jusqu'à présent à l'emploi des appareils de déchargement dans les gares, comme je l'ai signalé à la gare de Lyon à Paris. C'est la manière dont sont aménagées les gares anglaises où l'emploi des grues mécaniques est constant. Cette application a été aussi heureusement appliquée au port de Brême.

Port de Dunkerque.

Ce port a pris dans ces dernières années un développement considérable, qui est dû à l'importance de la région qu'il avoisine, aux facilités qui lui sont offertes par des tarifs peu élevés des marchandises par chemins de fer et aussi à la réexpédition par la navigation intérieure.

Les aménagements de ce port sont remarquables comme disposition des quais, sous forme de môles obliqués, qui peuvent être accessibles par des voies courbes et sans plaques tournantes. Ils présentent à ce point de vue un avantage sensible sur la disposition des quais de Marseille, car il permet le facile et rapide enlèvement des wagons au fur et à mesure des chargements.

C'est le port de transit par excellence, bien que jusqu'à présent il soit muni d'un nombre absolument insuffisant d'appareils mécaniques de chargement et qu'il ne possède pas encore de hangars et dont vous pouvez voir les dispositions prévues. Le sol des hangars est à niveau des quais (fig. 3 et 4, pl. 34).

On s'occupe de cette partie de l'outillage mécanique, et j'aurais voulu pouvoir vous parler de l'outillage mécanique que l'on projette et qui doit, espère-t-on, être fait par l'électricité que l'on veut adopter de préférence à l'hydraulique, par raison d'économie. Jusqu'à preuve du contraire, cependant, nous persistons à penser que l'emploi de l'accumulateur hydraulique qui permet, avec une machine relativement faible (250 chevaux) aux docks de Marseille, de faire la manutention de 14 000 *t* de marchandises par jour, puisse être remplacé par la machine électrique qui doit demander au moteur la force dont elle a besoin au fur et à mesure de sa production. L'accumulateur hydraulique, au contraire, à cause des alternatives de repos et d'activité des appareils, permet de donner aux appareils en fonction une grande force par de

l'eau prise à l'accumulateur, l'alimentation de l'eau en pression étant assurée par la continuité du fonctionnement des machines.

Nous croyons donc qu'en raison de ces circonstances les grues hydrauliques auront toujours la préférence sur les autres engins à vapeur ou électriques. En outre, l'appareil hydraulique a l'avantage important de donner, avec l'emploi de ce que les Anglais appellent les *hydrands*, la sécurité, puisque, en cas d'incendie, c'est un aide puissant qui est fort appréciable là où des matières souvent très inflammables sont manutentionnées.

Je viens de dire que le port de Dunkerque était aménagé au point de vue du transit. En effet, d'après les dispositions prises, la marchandise, une fois qu'elle aura été reconnue, pesée et échantillonnée, ne pourra pas être mise en magasin comme à Marseille, comme dans beaucoup de docks anglais et dans les docks de Hambourg et de Brême, où la marchandise peut être reprise immédiatement et mise en magasin, en évitant le camionnage qui sera nécessaire à Dunkerque, et une cause de dépenses, de perte de temps et de chances d'avaries pour les marchandises, est une considération fort importante pour un port, comme nous l'avons déjà fait observer.

Port de Calais.

Le port de Calais possède aujourd'hui des aménagements très complets et font de ce port un outil excellent pour les transports à grande vitesse. Tout est prévu pour la grande rapidité des manœuvres. La disposition des voies qui divise les quais en chantiers distincts, permettant à chaque navire de faire ses manutentions en dehors du navire qui le suit, permet d'arriver à une grande vitesse de manutention et classe le port de Calais comme un excellent port de transit.

Le sol des hangars doit-il être à niveau des quais ou surélevés ?

Une question très importante à discuter est celle-ci : Faut-il des hangars avec un quai à hauteur comme dans les gares, ou faut-il des hangars à niveau des voies.

En France, en général, à l'exception des quais du Lazaret, à Marseille, les hangars sont au niveau de la chaussée ; dans la plupart des autres pays les marchandises sont déposées sur un

quai ; ces marchanises reconnues, pesées, échantillonnées, sont portées ensuite en cabrouet de l'autre côté du quai, où elles sont reprises à la grue pour être chargées sur navire, ou réciproquement.

D'après M. l'Ingénieur en chef du port de Marseille, cette disposition n'a d'avantages que pour les marchandises expédiées sur wagons.

Il nous paraît cependant que la facilité de chargement sur voitures est aussi grande que pour les wagons, puisque la marchandise arrivant à un niveau supérieur à la plate-forme des voitures, n'exige pas d'efforts pour être chargée.

D'ailleurs, il est à remarquer que dans les installations étrangères, la face du hangar opposée aux quais est munie d'engins capables de prendre la marchandise et de la mettre sur voiture ou sur wagon.

Je suis donc d'avis que, dans les hangars à rez-de-chaussée, l'application de quais est économique et par suite avantageuse.

L'accès des voitures et des chevaux au milieu des colis est aussi souvent une cause d'avaries nuisibles aux marchandises et qu'il convient d'éloigner, car les avaries sont une des choses les plus graves dans les manutentions de marchandises.

Enfin, il est un fait notoire et connu de tous, c'est que sur une plate-forme à niveau les roues des véhicules creusent des ornières et des inégalités qui rendent très difficiles les manœuvres en cabrouet, toujours nécessaires quoi qu'il arrive, même dans un hangar à niveau des chaussées, car il est impossible d'apporter toujours la marchandise dans le voisinage du quai. D'un autre côté, sur un hangar avec quai, on peut classer et engerber la marchandise avec plus de facilité et en perdant moins de place que dans un hangar à niveau où l'on est obligé de ménager des espaces, entre chaque pile de marchandises, de sorte que là encore, au point de vue de la bonne utilisation de la surface, l'emploi des quais faciles à entretenir en bon état de roulement est préférable à la surface inégale et rugueuse des hangars accessibles aux voitures.

Je crois devoir m'arrêter à ces descriptions qui pourraient m'entraîner trop loin et pour l'étude des détails desquelles je renvoie aux plans et coupes accompagnant le mémoire ; mais à côté de ces installations qui sont parfaites en certains points, je crois devoir maintenant vous entretenir d'un sujet qui mérite une attention spéciale ; je veux vous parler des ports intérieurs et de leur outillage.

En France, on peut presque avancer que les installations n'existent pas.

Ainsi, à Paris où le tonnage atteint près de 6 millions, au point où viennent converger tous les canaux et plusieurs rivières canalisées, on ne rencontre pas un seul port bien aménagé, armé de grues, de voies ferrées, de magasins, de hangars, qui peuvent permettre d'embarquer les marchandises dans les bateaux, ou réciproquement, avec économie et rapidité. Aucune gare de Paris n'est reliée avec un port, nulle part il n'est possible de faire des transbordements : il faut donc partout recourir à des camionnages. A Lyon, au confluent de la Saône et du Rhône, on ne trouve aucune installation.

Je mets sous vos yeux le plan des installations aux abords des gares de Perrache, et vous jugerez que ces installations sont bien insuffisantes, pour répondre au mouvement considérable de marchandises qui s'effectue en un point de rencontre des deux plus grandes lignes de navigation de l'Est de la France. Or, il n'est pas douteux que si elles étaient liées par des raccordements de voies ferrées et par des gares armées d'appareils de déchargement, de magasins, le long des quais de ces rivières, de suite on constaterait une augmentation sensible du trafic.

Ces installations perfectionnées auraient pour résultat de diminuer les dépenses du passage de la voie d'eau sur la voie ferrée et réciproquement, et permettraient le transport de certaines matières lourdes et de peu de valeur qui ne peuvent se déplacer à cause des difficultés et des dépenses que cet échange entraîne aujourd'hui.

Je suis d'ailleurs convaincu, d'après les résultats consignés dans les statistiques, que ces facilités nouvelles, ces économies réalisées serviraient encore à augmenter le trafic de l'une et l'autre voie : car il est un fait incontestable et qui ne s'est jamais démenti, c'est que le trafic a toujours été en croissant au fur et à mesure que la vitesse a augmenté et qu'il a été possible d'arriver à diminuer les frais accessoires de transmission.

A l'appui de ces observations générales, quelques exemples permettront de juger de l'importance que de telles modifications peuvent apporter et serviront à en démontrer l'utilité.

A Rouen, sur la rive droite du quai fluvial, il existe une voie en cul-de-sac, parallèle aux berges de la Seine, où on charge les sables de verrerie venant de Fontainebleau et nécessaires à l'approvisionnement des grandes verreries de la ligne du Nord, Rouen-

Amiens. Or ces berges sont formées de quais à parois inclinées, qui éloignent le bateau de rivière de plus de 20 *m*. L'usage des grues à vapeur est impossible; aussi la lenteur du chargement, jointe au prix de transbordement, double le prix du fret du sable de Fontainebleau à Rouen.

Un quai vertical, des grues à vapeur diminueraient les dépenses de 1,50 *f* par tonne, et permettraient de débarquer des trains entiers de sable à un prix très faible avec une vitesse dix fois plus grande et permettraient de faire des transports de trains entiers en retour de Rouen, vers le Nord, en diminuant en même temps le prix du fret des bateaux à la descente qui apporteraient les sables en grande quantité vers le Nord ou seraient chargés pour l'Angleterre.

Sur la rive gauche, au contraire, les quais sont verticaux; les bois expédiés de Dieppe, sur wagons, viennent se débarquer facilement dans des péniches placées bord à quai, pour être portés dans les chantiers situés sur la Seine, à Paris.

Les pyrites, les sels d'une grande industrie de produits chimiques sont pris sur péniches, chargés sur wagons et transportés par embranchement de chemins de fer. Grâce à des grues à vapeur, ces opérations se font avec une telle rapidité que le prix du fret est diminué de moitié de Paris à Rouen.

La même usine peut également, par le même procédé économique, embarquer les sulfates de soude à des prix qui en permettent l'envoi à des centaines de kilomètres.

J'ai tenu à vous citer ces faits pour vous montrer à quels résultats économiques on peut atteindre par une étroite union des transports par chemins de fer combinée avec les transports par eau, surtout; et je tiens à le répéter, car c'est un fait sur lequel on ne saurait trop insister, grâce à l'extrême rapidité que les moyens mécaniques permettent d'imprimer à la manutention et aussi à la tendance générale qui se manifeste aujourd'hui dans la rapidité des transports par eau, qui a succédé à la lenteur excessive des transports d'autrefois. Auparavant une péniche mettait huit ou quinze jours pour aller de Rouen à Paris; aujourd'hui le temps de parcours n'est plus que de deux ou trois jours.

Mais où ces faits se montrent avec une éclatante vivacité, c'est dans le port de Francfort, dont je veux vous parler avec quelques détails pour vous faire toucher du doigt l'importance que peut acquérir un port intérieur aménagé méthodiquement et où toutes les opérations se font avec célérité et économie.

Les aménagements du port de Francfort me paraissent être le type du port intérieur et seront intéressants à consulter pour tous ceux qui s'occupent de ces graves et passionnantes questions des transports.

La rive nord du port de garage a 850 *m* de longueur, sert aux marchandises de douanes et à celles destinées à être mises en magasins.

La rive sud (port de sûreté) a 650 *m*, sert pour les matières lourdes et en vrac. Sur la même rive se trouve un dépôt de pétrole.

Sur la rive droite, 1 710 *m* de quai pour le commerce local.

Sur la rive gauche, 600 *m* de quai pour le charbon.

Tous les déchargements se font à la grue hydraulique.

Les conduites et les appareils électriques sont dans un aqueduc ménagé dans le mur du quai lui-même.

Un magasin-dock de 100 *m* de long, 26 *m* de large, à quatre étages, séparé en trois compartiments par des murs verticaux incombustibles.

La partie centrale sert pour les grains.

Il y a 2 300 m^2 de caves en sous-sol, 8000 m^2 de surface pour autres marchandises.

Un élévateur à grain décharge les grains en vrac, les porte en haut du bâtiment et les distribue.

La force employée est de 70 à 80 chevaux.

On se propose d'utiliser la chute des barrages de la rivière pour avoir la force nécessaire pour manœuvrer les appareils.

Le dock est éclairé à la lumière électrique ; on peut y travailler jour et nuit ; le prix des manutentions et le nombre de ces manutentions sont réduits de manière à rendre les opérations dans ce port extrêmement rapides et économiques, en assurant toujours le contact immédiat des wagons et des bateaux.

On trouve sur d'autres parties du Rhin des ports aménagés de la même manière et qui permettent d'apporter au transbordement les méthodes le plus expéditives et les plus économiques.

En un mot, on peut dire que l'Allemagne en est arrivée à solidariser les deux intérêts, à leur donner des facilités, des économies qui rejaillissent sur la fortune publique et permettent d'expliquer l'accroissement continu et énorme qu'ont pris les transports en Allemagne, puisque, l'année dernière, le tonnage kilométrique des

voies ferrées s'est élevé à.	21 900 000 000 *t*
Le tonnage kilométrique des canaux et rivières s'est élevé à.	6 200 000 000 *t*
Soit.	28 100 000 000 *t*

En France, pendant le même laps de temps, le tonnage kilométrique des voies ferrées s'est élevé à	10 200 000 000 *t*
Canaux, etc., à	3 200 000 000 *t*
Soit.	13 400 000 000 *t*

CONCLUSIONS

Après ce rapide examen de l'outillage des principaux ports de commerce maritimes et intérieurs en France et à l'étranger, après avoir démontré pourquoi cet outillage est nécessaire pour arriver au développement du commerce national, il me reste à expliquer comment on peut arriver à réaliser, en France, les améliorations utiles, en mettant à profit l'expérience de ceux qui nous ont devancés.

Je veux aussi arriver à dégager, par la comparaison que j'ai faite de la plupart des ports étrangers et français, une solution pour la meilleure organisation, qui permette de lutter contre nos concurrents étrangers.

En France, Marseille, par ses installations générales et ses projets d'avenir, ne le cédera en rien aux ports étrangers, lorsqu'il sera complété par une voie d'eau permettant aux marchandises lourdes et de peu de valeur d'arriver à Marseille à des prix de fret peu élevés.

La prospérité du port de Marseille est due, il n'en faut pas douter, à la création de la Compagnie des Docks. Le dock de Marseille est certainement en France ce qu'il y a de mieux comme entrepôt. L'organisation de cette grande entreprise, où tous les services sont concentrés sous une même direction, ayant tout dans ses mains, est l'exemple le mieux réussi en France et qui est aussi complet que les entrepôts anglais et allemands.

A mon avis, l'exemple de Marseille doit nous servir de leçon, car c'est à Marseille que, grâce à la concentration des services, l'on est arrivé à la plus grande économie, en tenant compte des fausses manœuvres évitées par la possibilité de mettre en entrepôt les marchandises qui ne sont pas destinées au transit ou au commerce local.

On réalise ainsi la solution des entrepôts anglais et des entrepôts allemands, où la direction générale centralisée permet de concourir au but poursuivi, c'est-à-dire la création d'entrepôts généraux pouvant entrer en concurrence avec les entrepôts étrangers et les entrepôts anglais, où la puissance des capitaux engagés, les grands marchés créés, offrent au commerce des ressources qui n'existent pas dans les autres ports de France.

Le Havre et Rouen, sur la Seine ; Saint-Nazaire et Nantes, sur la Loire ; Bordeaux, sur la Garonne, placés sur des rivières profondes, pourraient alors lutter avec tous les ports intérieurs de l'Angleterre, de l'Allemagne et de la Hollande.

A mon avis, il faut concentrer tous les efforts dans la Gironde, la Loire et la Seine ; faire toutes les améliorations susceptibles de développer les armements dans ces trois grands marchés.

Constituer de puissantes Compagnies, dans chacun de ces établissements maritimes, pour les mettre en état de centraliser tous les services dans une main et comprenant :

Les docks-entrepôts,

L'outillage,

La construction et l'entretien du port,

La direction générale du port.

Alors, mais alors seulement, nous verrons nos ports bien outillés, les travaux de construction rapidement achevés, les entreprises maritimes se développer dans chacun de ces établissements maritimes et autonomes, offrant à la concentration de Londres, de Liverpool et de Glasgow des organes assez puissants et assez vivaces pour reconquérir notre ancienne situation commerciale, pour créer de puissantes lignes de navigation qui fassent revivre l'ancienne situation de la France sur la mer.

L'essor prodigieux du commerce anglais tient surtout à la puissance de sa marine, qui a donné un extrême développement au transit par l'Angleterre pour tous les pays de l'Europe. Si la France, dont la situation géographique, en Europe, est si admirable, pouvait, à cette puissante marine, opposer le transit par la Seine, par le Rhône, par la Loire, par la Gironde et les canaux qui y aboutissent, le transit par les chemins de fer, qui vont de Marseille, de Bordeaux, de Nantes, de Rouen, du Havre, dans le cœur de l'Europe ; si les prix étaient abaissés jusqu'à la limite la plus faible possible, l'on verrait bientôt nos marchés prendre des proportions énormes.

Autrefois, on faisait des transports du Havre à Mulhouse, à

Bâle, en Italie et en Suisse. Par suite d'oppositions très vives, qui se sont produites dans les discussions du Corps législatif, les Compagnies ont été amenées à restreindre leurs tarifs de transit, mais la conséquence s'en est bien vite fait sentir. Une grande partie de ces transports se fait par Hambourg, Anvers et Rotterdam et les chemins allemands. L'élévation des tarifs de transit est la cause principale de la diminution de nos relations.

En France, on a fait la guerre aux tarifs de transit réduit; en Angleterre, pour tout ce qui touche au transit, c'est-à-dire l'essence même de la puissance commerciale du pays, on fait, au contraire, d'immenses sacrifices, parce que l'on a compris que lorsque les tarifs de transit sont aussi faibles que possible, on donne un avantage aux marchés nationaux par les relations étrangères qui sont ainsi créées.

Or, les grands marchés procurent la marchandise à bon marché et, si la production indigène paie quelques centimes de plus pour ses transports, elle en gagne des centaines en étant la maîtresse du marché qui approvisionne ses usines et donne à ces usines les approvisionnements économiques, car le pays qui ne possède pas de grands entrepôts est obligé d'aller demander ailleurs les matières premières qu'il consomme en payant aux autres, en commissions, en frets, en frais divers, des dépenses qui restent dans les pays d'entrepôts.

C'est une des questions les plus graves et sur laquelle on ne saurait trop insister; il faut que l'on s'en occupe de la façon la plus sérieuse; l'ennemi est à nos portes: la Belgique, la Hollande, l'Allemagne font des efforts énormes pour nous arracher ce transit de toutes les matières.

Ils cherchent par tous les moyens à diminuer les prix par chemins de fer, donnent des facilités de toute sorte, construisent des lignes très importantes en Hollande. Le percement du Saint-Gothard a été fait uniquement dans le but de mettre l'Allemagne du Nord en relations avec l'Allemagne du Sud, la Suisse et l'Italie.

Nos députés doivent suivre de la façon la plus vigilante cette situation qui, si elle n'était pas étudiée avec toute l'attention qu'elle mérite, placerait la France dans une situation des plus graves.

Il est constant que, au fur et à mesure que le trafic augmente, le prix moyen de transport baisse, que le prix est d'autant plus faible que le trafic s'accroît; les prix sont plus faibles sur les lignes à grand trafic que sur les lignes à trafic réduit. Supposons, par exemple, que le trafic des lignes baisse de moitié, de

suite les Compagnies se verront obligées de relever leurs tarifs, et cela ne saurait tarder à se faire sentir.

Si Rotterdam, Anvers ou Hambourg devenaient les entrepôts du continent pour les cotons, les laines et les marchandises du sud et du nord de l'Amérique, si le commerce français qui, en ce moment, va chercher une grande partie de ses matières dans les ports français, était obligé d'aller à Gênes, à Anvers et à Rotterdam ; on voit donc quelle serait la conséquence pour notre commerce et notre industrie, car elle créerait de suite des écarts de 3 à 4 0/0, changeant ainsi profondément, au détriment de l'industrie nationale, la situation économique de la France.

Il est certain que si le marché français venait à disparaître ou à s'amoindrir, s'il n'alimentait pas ou n'alimentait plus d'autres pays, on verrait certainement déchoir la France industrielle dans des conditions qu'elle ne soupçonne pas. Il est évident que si nos ports doublaient d'importance, les prix de transports nationaux diminueraient et l'industrie nationale en ressentirait les effets. D'un autre côté, l'accroissement des marchés français donnerait à l'industrie les avantages qu'elle peut recueillir d'un grand marché, influence beaucoup plus sensible encore que les transports réduits.

Pour en citer un exemple frappant entre tous, quand Paris, il y a quelques années, était le grand marché des capitaux de toute l'Europe, les affaires se faisaient sur le marché de Paris, à des conditions de prix, avec des facilités qui donnaient à la France des millions chaque année.

Il n'y avait pas une grande affaire en Europe où le marché français ne fût appelé. Ce que je dis pour les marchés financiers est aussi vrai pour les marchés de marchandises ; si les grands entrepôts étaient en France, l'industrie française serait la régulatrice de l'industrie européenne. C'est aux grands marchés, à leur importance financière que l'industrie doit ses plus grands succès

C'est à Liverpool que Manchester doit sa grande importance. Si Liverpool n'existait pas en Angleterre, Manchester n'aurait jamais acquis l'importance qu'il possède et Liverpool approvisionne toute l'Europe.

On sépare malheureusement trop, dans les discussions industrielles, les questions commerciales des questions industrielles ; les marchés occupent dans le monde une place dont on ne peut pas assez se rendre compte. C'est aux grands marchés que l'Angleterre, nous le répétons d'une manière générale, doit sa puissance

et sa fortune. Ces grands marchés existent en Angleterre, parce que l'Angleterre a été le grand entrepôt du monde européen. Ces entrepôts se sont créés par le seul effet des moyens rapides de communications, qui lui permettent d'expédier partout sa marchandise. Les chemins de fer, les fleuves placent la France, et particulièrement la Normandie, dans une situation plus favorable que l'Angleterre, si la France et notre région savent user économiquement de leurs chemins de fer et veulent perfectionner les fleuves, les canaux et les ports de mer.

Quant aux ports intérieurs et à notre navigation extérieure, pour leur permettre de conquérir à leur tour la situation acquise en Allemagne, pour constituer des ports intérieurs dans les grandes villes en relations avec les chemins de fer, des magasins, des hangars, un outillage nécessaire au développement de ces voies de navigation qui ne peuvent s'agrandir et se fortifier qu'en possédant un outillage aussi perfectionné que possible et qui permette à la navigation de ne plus attendre au point d'arrivée, il faut aussi de la concentration.

Sur de grands réseaux choisis au milieu du réseau existant, il faudrait organiser des Compagnies d'exploitation chargées, sous leurs responsabilités, de construire et d'exploiter les ports et les canaux pour aider la navigation libre qui les parcoure, de même que nous aidons la navigation qui arrive librement dans nos ports par des voies ferrées, des ateliers de réparations, des hangars, des docks.

Les arrivages se feraient à des points déterminés où on centraliserait tous les services et où les lignes de navigation se souderaient aux voies ferrées.

A Paris, les ports de Grenelle, de Clichy, d'Ivry, de Bercy et de la Villette, formeraient des grands ports commerciaux intérieurs pour desservir nos grands réseaux.

A Lyon, au confluent du Rhône et de la Saône, on aurait aussi à établir un grand port d'embarquement et de débarquement, où les mêmes dispositions seraient prises

Les Compagnies de navigation intérieure, joignant alors leurs efforts aux grandes Compagnies de chemins de fer, on verrait la France lutter avec avantage contre les étrangers dont les succès ne sont obtenus que par les moyens que nous venons de proposer, qui constitueraient de puissants organes de circulation, seuls en mesure de lutter contre l'organisation des pays qui nous disputent le trafic de l'Europe.

MÉMOIRE

SUR

L'EXTRACTION ET L'AFFINAGE DES MÉTAUX

PAR L'ÉLECTROLYSE

ET

LES PROCÉDÉS EMPLOYÉS POUR LA FABRICATION DE L'ALUMINIUM

PAR

Ch. HAUBTMANN

EXPOSÉ GÉNÉRAL

Dans ces dernières années, on a vu apparaître, sur le marché métallurgique, un nouveau métal, l'aluminium, sur lequel on a fondé immédiatement de grandes espérances.

Bien que connu depuis fort longtemps, l'aluminium n'avait pas encore pénétré dans le domaine pratique à cause de son prix élevé, et nous le trouvons classé parmi les métaux précieux jusqu'en 1885. A cette époque, d'importantes modifications commencèrent à être apportées dans la production de ce métal, et c'est grâce à ces perfectionnements que le prix de l'aluminium s'abaissa rapidement de 200 *f* le kilogr. à 20 *f*, cours actuel, qui est loin d'être son minimum (1).

La production de l'aluminium, à bas prix, a une importance considérable pour la France, en ce sens que, ce métal semblant appelé à remplacer dans une certaine mesure les métaux usuels dont nous manquons, tels que le cuivre et l'étain, on pourra diminuer, lorsqu'il aura acquis des prix rendant son emploi pratique, d'autant les importations de ces métaux dont notre industrie ne peut se passer en ce moment.

(1) Les derniers cours parvenus des États-Unis le donnent à 10 *f* le kilogr.

Les méthodes employées dans l'extraction de l'aluminium ont reçu des développements très divers, suivant les pays dans lesquels on les a appliquées. Les procédés chimiques ont pris une prépondérance marquée en Allemagne et en Angleterre; tandis que les méthodes électrolytiques dominent d'une façon absolue en France et en Amérique. Ce résultat n'a rien de surprenant si on tient compte de l'importance des forces naturelles disponibles dans ces deux dernières nations. Ces forces naturelles transformées en énergie électrique, peuvent, comme on le sait, être utilisées de trois manières différentes : 1° comme agent de transmission de la force; 2° comme producteur de lumière; 3° dans le traitement des minerais pour l'extraction des métaux et la formation des alliages. Quel est l'avenir de ces applications de l'électricité à l'industrie? Il serait difficile de répondre, car la solution varie suivant chaque pays auquel on veut l'appliquer ; mais, en ce qui concerne la France particulièrement, il est permis de se demander, si avec l'électricité et l'utilisation des forces naturelles pour la produire, on ne pourrait pas économiser une grande partie des deux cents millions que nous donnons à l'étranger chaque année, en échange du charbon qu'il nous apporte.

La transmission de la force à grande distance est une chose difficilement applicable pour le moment, car les méthodes actuelles nécessitent des capitaux considérables, dont l'intérêt fait disparaître l'économie réalisée par la source naturelle d'énergie dans le cas où celle-ci est assez éloignée du lieu de consommation.

L'utilisation sur place de la puissance mécanique n'étant pas toujours chose facile en raison des difficultés d'établissement de certaines industries dans les régions où se trouvent situées les chutes, on conçoit immédiatement que les forces naturelles ne peuvent être utilement employées sur le lieu même de la production que dans le cas où l'agent électrique joue un rôle prépondérant comme dans les industries électro-chimiques.

On voit immédiatement qu'il ne faudrait pas chercher la solution générale du problème que nous énoncions plus haut uniquement dans le transport de la force; qu'au contraire, il serait nécessaire d'utiliser sur place le plus possible de la puissance totale que l'on pourrait recueillir. L'examen des statistiques nous montre que l'extraction et l'affinage des métaux entrent pour une grande part dans la consommation de combustibles de la France; or, d'après les méthodes que la science permet de prévoir, il a semblé logique de se demander, si on ne pourrait pas utiliser une

partie de ces sources naturelles d'énergie pour traiter électriquement certains minerais travaillés aujourd'hui avec l'aide du charbon.

La fusion électrique des métaux qui a été résolue pour la première fois par Siemens, qui l'a appliquée au platine, renferme à ce sujet des renseignements intéressants, consignés dans le tableau ci-dessous :

CONSTANTES THERMIQUES RAPPORTÉES A LA FUSION ÉLECTRIQUE DE 1 *kg* DE MÉTAL (1) (AD. MINET).

Métaux.	Chaleurs spécifiques = C	Chaleurs de fusion C'	Températures de fusion t	Calories absorbées C^1 $(ct + C')$	Charbon consommé dans la machine à vapeur. $1.56 \times C^1$
	Cal.			Cal.	Gr.
Potassium. .	0,166	»	90°	15	23,40
Sodium. . .	0,293	»	58°	17	26,52
Sélénium. .	0,076	»	217°	16.5	25,70
Etain. . . .	0,056	14.25	230°	27	42
Bismuth . .	0,031	12.60	265°	20.8	32,40
Cadmum . .	0,057	13.60	320°	34.4	49,60
Plomb . . .	0,031	5.40	330°	15.8	24,60
Zinc	0,096	28.10	360°	62.7	98
Magnésium .	0,250	»	380°	95.0	148
Antimoine .	0,052	»	432°	22.5	35
Strontium. .	»	»	700°	»	»
Baryum. . .	»	»	700°	»	»
Aluminium .	0,214	»	625°	134	209
Argent . . .	0,057	21.10	1000°	78	122
Cuivre . . .	0,095	»	1090°	104	162
Or	0,030	»	1100°	33	51,5
Fonte grise .	0,110	»	1500°	165	257
Acier. . . .	0,110	»	1800°	198	309
Manganèse .	0,120	»	1800°	216	337
Nickel . . .	0,110	»	1800°	128	309
Cobalt . . .	0,110	»	1800°	198	309
Fer	0,110	»	1900°	209	326
Palladium .	0,059	»	1950°	115	179
Platine. . .	0,032	»	2000°	64	100

Ce tableau démontre que la meilleure utilisation des calories

(1) Pour les métaux dont la chaleur de fusion n'a pas été déterminée, il n'en a pas été tenu compte dans la 5e colonne, ce qui, d'ailleurs, n'influe pas beaucoup sur les résultats.

dégagées de la combustion du charbon est obtenue pour plusieurs métaux, lorsque cette puissance calorifique passe par une série de transformations.

La quantité de chaleur dégagée par le courant électrique représentant les 8/100 de la chaleur de combustion du charbon consommé dans le générateur de la machine à vapeur actionnant les dynamos, et 0,135 *kg* de carbone dégageant une grande calorie, il faudra donc 1,56 *kg* de carbone pour produire une calorie électrique en un point donné du circuit.

La chaleur nécessaire à la fusion d'un kilogramme de métal par le procédé électrique semble donc, dans beaucoup de cas, être au-dessous, comme consommation de carbone, de celle des procédés de fusion par combustion directe du charbon *telle qu'elle est appliquée actuellement.*

Admettons dans le cas de la fusion électrique une perte de 50 0/0, et doublons, de ce fait, les chiffres de la sixième colonne de notre tableau, on admettra, avec nous, pour peu que l'opération soit bien conduite, que cette perte sera un maximum.

Suffira-t-il par combustion directe de 103 *g* de carbone pour fondre 1 *kg* d'or, de 200 *g* pour fondre 1 *kg* de platine, etc.? Évidemment non. Cela tient à ce que, dans la fusion par combustion directe de ces métaux, la plus grande partie des calories est absorbée par les pertes de tous genres ; tandis que dans les fours électriques, le métal et le creuset sont seuls portés à la température nécessaire à l'opération.

La richesse minérale d'un pays, quoique ne constituant pas à elle seule ses ressources, influe énormément sur le chiffre total de ses transactions intérieures et extérieures. Si nous prenons, d'après les dernières statistiques, la production minière de chaque État, nous constatons la grande infériorité dans laquelle nous nous trouvons par rapport à nos concurrents en matière industrielle, l'Allemagne, l'Angleterre et les Etats-Unis.

Nous trouvons pour la France et l'Algérie, en 1888 :

NATURE DES PRODUITS	POIDS	VALEUR EN FRANCS
Combustibles minéraux . . .	22 603 000 *t*	232 995 000
Minerais bitumineux	189 000	1 268 000
Sel gemme et sel marin . . .	657 800	11 988 000
Fonte	1 683 000	95 966 000
	A reporter . .	342 217 000

NATURE DES PRODUITS	POIDS	VALEUR EN FRANCS
	Report.	342 217 000
Cuivre	2 183	3 272 000
Plomb	6 400	1 978 000
Zinc	17 000	6 895 000
Nickel	30	210 000
Aluminium	4	385 000
Antimoine	239	221 000
Argent	49 396 *kg*	7 903 000
Or	1 804	6 175 000
TOTAL		369 556 000

Pour l'Allemagne :

NATURE DES PRODUITS	POIDS	VALEUR EN FRANCS
Combustibles minéraux	81 960 000 *t*	398 616 000
Minerais bitumineux	35 900	1 578 000
Sel gemme	901 000	15 348 000
Fonte	3 813 003	211 367 000
Plomb	97 200	30 665 000
Cuivre	23 100	39 972 000
Zinc	133 180	53 617 000
Étain	220	169 000
Nickel	280	1 437 000
Manganèse	14	50 000
Antimoine	69	40 000
Cobalt	438	3 760 000
Argent	406 603 *kg*	63 316 000
Or	1 787	6 155 000
TOTAL		826 090 000

Pour l'Angleterre (Canada, Australie, Nouvelle-Zélande, Possessions anglaises en Asie et en Afrique) :

NATURE DES PRODUITS	POIDS	VALEUR EN FRANCS
Combustibles minéraux	130 219 000 *t*	1 163 141 000
Minerais bitumineux	2 293 036	19 693 000
Sel gemme ou sel marin	3 447 000	33 855 000
Fonte	8 129 800	373 575 000
Cuivre	84 100	158 271 000
	A reporter	1 748 535 000

NATURE DES PRODUITS	POIDS	VALEUR EN FRANCS
	Report.	1 748 535 000
Plomb	64 990	30 261 000
Zinc	20 000	9 376 000
Étain	15 715	44 538 000
Antimoine	180	142 000
Argent	39 680 *kg*	5 824 000
Or	47 483	145 943 000
TOTAL		1 984 619 000

Et enfin pour les États-Unis :

NATURE DES PRODUITS	POIDS	VALEUR EN FRANCS
Combustibles minéraux	134 855 000 *t*	1 089 317 000
Minerais bitumineux	48 800	1 707 000
Naphte et pétrole	3 522 000	126 683 000
Fonte	6 594 000	551 050 000
Sel gemme ou sel marin	1 023 000	22 543 000
Cuivre	104 000	174 245 000
Plomb	164 000	82 013 000
Zinc	50 700	28 329 000
Mercure	1 145	7 278 000
Nickel	93	661 000
Antimoine	91	103 000
Aluminium	9 000 *kg*	335 000
Argent	1 424 526	304 854 000
Or	49 917	170 851 000
TOTAL		2 559 969 000

Nous n'avons compris, dans ces tableaux de comparaison, que les combustibles minéraux (houille, anthracite, lignite, tourbe), les minerais bitumineux (pétrole et naphte), le sel gemme, les métaux à l'état de fonte.

L'examen de ces tableaux nous montre en ce qui nous concerne : 1° que notre production annuelle de houille est de 10 000 000 de tonnes inférieure à notre consommation ; 2° que nous manquons d'une façon absolue d'étain.

Au Ministère des Travaux publics, il a paru intéressant de voir comment se répartissait la consommation de charbon dans les industries diverses, et voici la décomposition telle qu'elle a été communiquée :

Alimentation des machines à vapeur en activité dans les mines représentant un total de 90 650 chevaux-vapeur. .	1 287 159 *t*
Alimentation des machines à vapeur des usines à fer, représentant un total de 96 586 chevaux-vapeur	1 352 204
Production de la fonte	1 952 344
Production du fer	1 243 426
Production de l'acier.	717 233
Autres métaux	110 862
Asphaltes et huiles minérales	3 844
Machines à vapeur des industries non citées plus haut (595 218 chevaux-vapeur)	8 333 052
Chemins de fer représentant traction et ateliers compris (3 223 000 chevaux-vapeur)	3 223 000
Bateaux à vapeur	550 000
Usines à gaz.	2 500 000
Chauffage, industries diverses.	11 146 874
TOTAL	32 419 998 *t*

La production de la fonte et du fer entre dans la consommation totale pour 3 195 177 *t;* celle de l'acier pour 717 233, et les autres métaux pour 118 862.

Admettons que l'utilisation des calories dégagées par la combustion du charbon soit portée à son maximum dans les hauts fourneaux traitant les minerais, et évaluons, de ce fait, à raison de 6 000 calories par kilogramme de carbone, la quantité de chaleur utilisée dans ces appareils. Ce chiffre, beaucoup plus élevé que la réalité, est adopté à dessein : 1° afin de placer l'utilisation de l'énergie électrique dans les plus mauvaises conditions possibles vis-à-vis de la combustion directe ; 2° pour que dans l'évaluation de la force en chevaux-vapeur électriques des calories dégagées dans les hauts fourneaux, on ait une grande marge en vue des pertes probables de potentiel dans la ligne de transport. Un cheval-vapeur électrique étant équivalent à 0,160 cal. (1), nous trouvons que la production du fer et de la fonte représente :

$$3\,195\,177\,000 \times 6\,000 = 19\,171\,062 \times 10^6 \text{ calories.}$$

Si on compte une marche effective de 360 jours par an, le cheval-vapeur aura comme équivalent exprimé en calories :

$0{,}160 \text{ cal.} \times 360 \times 24 \times 60 \times 60 = 5\,000\,000$ de calories, soit : $\frac{19\,171\,062}{5\,000\,000} \times 10^6 = 4\,000\,000$ de chevaux-vapeur, pour rem-

(1) Perte de 10 0/0 comprise dans la transformation.

placer la consommation du charbon dans la production de la fonte et du fer.

L'acier nécessiterait :

$$\frac{77\,233\,000 \times 6\,000}{5\,000\,000} = 860\,000 \text{ chevaux-vapeur,}$$

et les autres métaux :

$$\frac{110\,862\,000 \times 6\,000}{5\,000\,000} = 133\,000 \quad —$$

Soit en tout, pour les industries métallurgiques, en chiffres ronds, 5 000 000 de chevaux-vapeur.

En ce qui concerne les 2 500 000 *t* de houille employées pour l'éclairage, la question devient tout de suite beaucoup plus complexe, en ce sens que ce sont surtout les sous-produits de la distillation qui forment la partie essentielle de cette industrie et qu'il est difficile de s'en passer. En admettant que l'éclairage électrique remplace partout le gaz, il faudra quand même opérer la distillation d'une certaine quantité de houille, afin d'en tirer les sous-produits indispensables à l'industrie.

Donc, si l'on veut réduire la consommation annuelle de combustible en utilisant les forces naturelles, il semble à première vue que l'on devra porter son étude sur deux points principaux : 1° transport de l'énergie électrique à grande distance et transformation en puissance mécanique ; 2° transport ou utilisation sur place de la chaleur provenant de la transformation du courant électrique.

Nous nous proposons, dans un prochain mémoire, d'étudier le premier point; occupons-nous aujourd'hui du second :

Les forces naturelles de la France sont, d'après un travail de M. Barré, d'environ 10 000 000 de chevaux-vapeur. Il serait tout à fait mal fondé de croire que l'on puisse utiliser la puissance calorique de plus du quart aux endroits mêmes de la production.

Prenons alors une force de 1 000 chevaux, représentant pour une année de 360 jours :

$$\frac{1\,000 \times 360 \times 24 \times 3\,600 \times 75}{425} = 5\,000 \times 10^6 \text{ de calories,}$$

et déterminons quelle sera la dépense nécessitée par l'intérêt et l'amortissement du capital; ajoutons à ce chiffre l'entretien de ces 1 000 chevaux hydrauliques, nous aurons comme frais d'établissement :

Turbines	100 000 *f*
Dynamos	100 000
Divers	50 000
Ensemble	250 000 *f*

dont l'intérêt à 5 0/0 représente 12 500 *f* par an ; l'entretien de 1 000 chevaux à raison de 20 *f* donne 20 000 *f*, ce qui fait un total, en comprenant une moyenne d'amortissement de 15 000 *f* par an, 47 500 *f*, ou, en chiffres ronds, 50 000 *f*.

Si nous utilisons la puissance calorifique de ces 1 000 chevaux, il faudra, pour réaliser une économie sur la combustion directe, que la houille coûte à l'endroit de l'utilisation plus de

$$\frac{50\,000 \times 6 \times 10^6}{5\,000 \times 10^6} = 60\ f \text{ la tonne},$$

c'est-à-dire plus du double du prix moyen d'aujourd'hui. Ce chiffre, par son exagération, démontre l'impossibilité d'employer les méthodes électriques dans la production de la fonte ; ce n'est donc que dans l'affinage des métaux que ces procédés ont quelque chance de prendre place dans la métallurgie. Toutefois, il est intéressant de suivre les essais tentés dans cette voie pour la fabrication de l'acier et l'affinage du cuivre, et c'est dans ce but que nous allons commencer par examiner les principaux types de creusets et fourneaux électriques, et continuer ensuite par l'étude des méthodes électrolytiques employées dans la métallurgie.

Nous croyons que c'est sur ce dernier point que doivent principalement porter les efforts des Ingénieurs cherchant la solution du problème de l'utilisation des forces naturelles appliquées à l'extraction et à l'affinage des métaux. Pour nous, nous pensons que la meilleure utilisation de ces forces serait dans leur transformation en puissance mécanique, car la mauvaise utilisation des calories du charbon dans la machine à vapeur permettrait de consentir à des pertes considérables dans les lignes de transport et c'est probablement dans ce sens qu'il faudra chercher la réalisation générale de ce projet qui nous intéresse tous à un si haut degré. Cette conclusion paraît justifiée par les raisons suivantes : 1° prix excessif de la calorie électrique, comparativement à celle dégagée par la combustion directe du carbone ; 2° impossibilité de supprimer les industries d'éclairage au gaz.

Les machines à vapeur des industries diverses entrant pour 8 000 000 de tonnes dans la consommation générale, on pourra dans de très bonnes conditions économiques, dans un temps plus

ou moins éloigné, les remplacer par des moteurs électriques, dont la puissance représentera une quantité de houille beaucoup plus considérable que si le courant avait été utilisé sous forme de chaleur, même dans des appareils spéciaux. C'est ce qui paraît le plus logique ou tout au moins le plus pratique pour le moment.

Creusets et fourneaux électriques.

Bien que les progrès réalisés dans cette voie aient été très rapides, nous sommes loin d'être arrivés à un degré de perfectionnement qui permette de supprimer d'une façon complète les anciens cubilots et les remplacer par des appareils électriques. Cependant, chaque jour on apporte de nouvelles améliorations, et bientôt, il est permis de l'espérer du moins, cette nouvelle branche de l'industrie prendra l'importance qui lui convient dans le traitement de certains métaux.

Le principe du creuset électrique est fort simple. Il consiste uniquement dans l'utilisation de la chaleur dégagée par l'arc voltaïque. On sait que ce phénomène, qui a été découvert par Davy en 1810, est capable d'atteindre la plus haute température connue actuellement, 4 880° environ.

L'arc voltaïque se produit depuis une tension de 20 volts, à la condition de mettre les deux électrodes en contact et de les séparer ensuite très faiblement. Avec des potentiels de 10 000 volts, on peut obtenir un arc de plus de 0,25 *m* de longueur.

On sait aussi que la chaleur développée dans le temps T par le passage d'un courant I et de force électromotrice E est :

$$\frac{EIT}{J} \text{ kilogrammes degrés,}$$

J représentant :

$$425 \times 9{,}808 = 4\,200$$

E exprimé en volts et I en ampères.

Si on employait le système C G S on aurait :

$$\frac{ei\,T}{J} = \text{grammes degrés,}$$

et *e* et *i* seraient alors les unités de force électromotrice et d'intensité du système C. G. S., et J devrait être égal à (1) :

$$10^7 \times 0{,}425 \times 9{,}808 = 4{,}2 \times 10^7$$

La première application de ce principe a été faite en 1878 par

(1) Dans le système des Unités pratiques le volt est égal à 10^8 unités C G S, et l'ampère à 10^{-1} ; le produit EI est donc égal à $ei \times 10^7$.

Sir William Siemens. Le type industriel du creuset électrique conçu dans cet ordre d'idées est représenté figure 1 (α β), d'après le brevet pris en Angleterre le 27 mai 1879.

Soit un creuset en fonte M garni de charbon aggloméré ou de briques réfractaires ; on perce à la partie supérieure et suivant un même diamètre normalement aux génératrices deux trous destinés à recevoir les électrodes. L'une de ces électrodes, la positive A, est en charbon et percée d'un trou permettant d'injecter au creuset des réactifs gazeux ; l'autre, la négative B, est en cuivre et est disposée de façon à être constamment rafraichie par une circulation d'eau.

L'avancement des électrodes et la régulation de l'arc s'obtiennent de la manière suivante : les deux électrodes placées en opposition reposent sur des galets, RRR, dont l'axe porte à une extrémité une roue dentée hélicoïdale *rr ;* un arbre S, sur lequel sont montées des vis sans fin *r' r'*, peut, par la rotation de celles-ci, faire tourner les galets R et effectuer le rapprochement des électrodes A et B. L'arbre S est commandé par une roue à augets, T, pouvant recevoir, soit du sable fin, soit de l'eau, d'un ajutage oscillant, U, placé au-dessous d'un réservoir I. Le sens de la rotation de la roue T, varie suivant que l'ajutage U est dirigé à droite ou à gauche de son axe d'équilibre. Ces oscillations sont obtenues au moyen d'un solénoïde, E, placé en dérivation sur le circuit principal et dont le noyau agit sur l'extrémité d'un levier calé sur l'axe du tube U. Pour éviter les pertes de liquide pendant que l'ajutage est vertical, et pour empêcher la roue T de tourner, on a disposé à l'extrémité supérieure de U un petit distributeur *v* qui ferme l'orifice d'écoulement du réservoir I.

Ce creuset a donné d'excellents résultats pour la fusion du platine. Son auteur avait conçu la pensée de le modifier profondément, de manière à le rendre applicable pour de grandes quantités de métal ; mais la mort vint le surprendre dans ses travaux, et nous ne pensons pas que ses collaborateurs aient continué ses recherches.

Un autre industriel, qui s'est aussi beaucoup occupé de la fusion électrique, est M. William Maxwell. Dans l'une des nombreuses dispositions qu'il a proposées *(fig. 2)*, la matière à traiter se trouve placée en E, dans un creuset D, fait en charbon ou en briques pris entre les deux électrodes C et C'. La coulée s'opère en retirant le bouchon P. Il convient de remarquer ici qu'il n'y a pas usure de l'une des électrodes, comme dans le creuset de Siemens.

Dernièrement M. Parker a essayé, avec beaucoup de succès, la disposition suivante. Dans un four construit en briques réfractaires *(fig. 3)*, on place plusieurs rangées de grosses électrodes fixes C^1 C^1, encastrées dans des gaines métalliques GG; au-dessous de chaque électrode principale on dispose une électrode secondaire mobile, qui sert à l'amorçage; avec leur secours, on porte une partie de la masse à traiter au rouge et l'arc jaillit bientôt des électrodes principales. On règle automatiquement avec un rhéostat le potentiel du courant en fonction de la conductibilité de la masse en fusion. Les scories sont évacuées par le trou *n* et les charges se manipulent par le regard *x x*,

MM. Rogerson Statter et Stevenson ont cherché à utiliser l'action directrice exercée par les courants sur l'arc voltaïque, étudiée par Quet en 1820, pour le promener dans l'intérieur de leur fourneau de *y* en *z*. Ils mettent, à cet effet, figure 4 (3), deux pôles *d d*, excités par une dérivation du courant de l'arc. Nous n'avons pas connaissance des résultats obtenus par ces messieurs qui n'ont fait qu'appliquer, en somme, le principe de la lampe à cadre directeur de Jamin.

Dans les creusets électriques de M. *W. Cross*, de Londres, *(fig. 5a b c d)*, l'électricité agit en portant à l'incandescence *(fig. 5 et 5a)*, de gros crayons de carbone creux *c c c*... qui ferment le circuit avec la plaque de base *p* et les parois *c'* du creuset également en charbon. Le creuset, cylindrique ou prismatique, est pourvu en *a* d'un trou de coulée, en *b* d'un regard pour évacuer les scories, en *g* d'un rifle d'évacuation des gaz et en *t* d'une trémie de chargement. Le creuset et la plaque *p* sont reliés au pôle positif du circuit par les barres métalliques *m m m*...

Les crayons de charbon *c* du creuset représenté par la figure 5c, peuvent tourner dans le bain et le brasser au moyen de la vis sans fin *i*. Le courant, amené aux charbons par le balai *f* et leur plaque métallique d'attache *n*, sort par les tiges métalliques *o* attachées à l'anneau *n'* et le balai *f'*.

On peut aussi, comme l'indique la figure 5b, faire tourner le creuset lui-même sur des galets G, le courant étant amené aux crayons *c* par les balais *f f'*.

Dans la variante représentée figure 5d, les crayons *c* sont disposés au-dessus d'une plaque de carbone *n*, creusée en forme d'auge inclinée vers le trou de coulée, et qui peut être reliée au circuit par une clef *s*, de façon à faire passer au travers du bain un courant

dérivé de *n* en *c*. La régularisation du courant s'opère au moyen des résistances R, d'après les indications d'un ampèremètre *a*.

On peut, bien entendu, faire agir, en même temps que la chaleur des charbons incandescents, celle d'un four dans lequel on installe les creusets.

Les principes sur lesquels sont fondés les appareils de M. Cross sont connus depuis longtemps; il n'a fait que les appliquer sous une forme qu'il considère comme susceptible d'un succès industriel.

Tous ces fourneaux ou creusets que nous venons de décrire n'emploient comme source de chaleur que les courants continus. MM. de Ferranti et Colby ont brillamment expérimenté les courants alternatifs.

La particularité la plus remarquable du creuset de M. de Ferranti est l'absence des électrodes dans l'intérieur du foyer *(fig. 6)*. On utilise la puissance calorifique du courant en entourant les creusets A par des circuits C revêtus de lames de fer B constituant un champ magnétique puissant. Le tout est mis sur un basculateur D qui permet de pivoter et vider facilement les creusets. Les pertes par rayonnement de cet appareil sont assez considérables et sa manipulation offre quelques dangers.

Quant à M. Colby, il fait servir la matière contenue dans le creuset ou le creuset lui-même, comme circuit secondaire d'un transformateur, dont le primaire, P, serait alimenté par une dynamo alternative.

Le creuset *(fig. 7)* est formé par un cylindre *e* en terre réfractaire, autour duquel on enroule le circuit primaire P.

Au cas où la matière traitée ne serait pas conductrice, une auge métallique réfractaire, S, constitue le secondaire. L'intensité du champ magnétique est renforcée par une âme lamellaire F en tôles isolées à l'amiante.

Un tube N permet de faire le vide dans l'appareil, tandis qu'un tube N′ peut y introduire un gaz.

Nous arrêterons ici ces descriptions qui montrent surabondamment l'intérêt que l'on porte à la question. Dans toutes ces dispositions, la transformation du courant électrique en chaleur s'effectue dans d'excellentes conditions, les pertes par rayonnement peuvent être considérées comme réduites à leur minimum, ce qui est à considérer lorsque l'on doit opérer à de hautes températures.

On peut reprocher aux systèmes employant les courants con-

tinus, de nécessiter des électrodes qui s'usent plus ou moins rapidement. Quoique cette dépense disparaisse vite devant l'économie réalisée sur la combustion directe dans les cas spéciaux où il y a avantage à employer la fusion électrique, elle n'a pas lieu avec les fours à courants alternatifs. Le creuset de M. Colby, qui ne date que de l'année dernière, semble vouloir se développer rapidement en Angleterre. On en construit en ce moment en vue d'obtenir du fer chimiquement pur et opérer la fabrication de l'acier. Les premiers essais avaient donné des résultats très satisfaisants, quoique les modèles que nous avons vu soient loin d'être aussi perfectionnés que ceux que l'on monte en ce moment.

LOIS GÉNÉRALES DE L'ÉLECTROLYSE

On désigne généralement sous le nom d'électro-métallurgie l'ensemble des procédés électriques propres à la réduction et au travail des métaux.

Ces procédés se divisent en trois classes : la première, que l'on appelle électro-métallurgie par voie humide, traite les métaux au sein de dissolutions salines; la seconde, qui forme l'électrolyse par fusion aqueuse, consiste à traiter les corps avec l'eau qu'ils contiennent à l'état de formation, au lieu de l'eau de dissolution de la première méthode; et, enfin, la troisième, l'électro-métallurgie par voie sèche, utilise les procédés électriques de production de la chaleur, avec ou sans le concours des actions électrolytiques; dans ce cas, les matières sont à l'état anhydre.

Pour un électrolyte donné, décomposé par le passage d'un courant, le même élément ou groupe d'éléments se porte toujours vers la même électrode.

Les corps qui sont transportés vers l'électrode positive ou *anode* prennent le nom d'éléments électro-négatifs, et ceux qui sont attirés par l'électrode négative ou *cathode*, le nom d'éléments électro-positifs.

Pour représenter symboliquement le phénomène, nous dirons que les premiers sont électrolysés négativement, alors que les seconds se chargent d'électricité positive.

Lorsqu'on considère plusieurs électrolytes, on constate que, pour un élément fixe, le sens de l'électrisation n'est pas invariable.

C'est ainsi que le soufre est électro-négatif, par rapport à l'hydrogène, dans l'*hydrogène sulfuré*, et électro-positif, par rapport à l'oxygène, dans l'acide sulfureux.

TABLEAU 1

Série électro-chimique des corps simples.

1.	Oxygène.	20.	Cuivre.
2.	Soufre.	21.	Bismuth.
3.	Azote.	22.	Etain.
4.	Fluor.	23.	Plomb.
5.	Chlore.	24.	Cobalt.
6.	Brome.	25.	Nickel.
7.	Iode.	26.	Fer.
8.	Phosphore.	27.	Zinc.
9.	Arsenic.	28.	Manganèse.
10.	Chrome.	29.	Aluminium.
11.	Bore.	29 *bis*	Ammonium.
12.	Carbone.	30.	Magnésium.
13.	Antimoine.	31.	Calcium.
14.	Silicium.	32.	Baryum.
15.	Hydrogène.	32 *bis*	Strontium.
16.	Or.	33.	Lithium.
17.	Platine	34.	Sodium.
18.	Mercure.	35.	Potassium.
19.	Argent.		

Le tableau I, dressé par beaucoup de physiciens, comprend la série électro-chimique des corps, disposés de telle façon que chacun d'eux est électro-négatif, par rapport à ceux qui le suivent.

On remarque que l'hydrogène et les métaux sont électro-positifs, par rapport aux métalloïdes (Cl, Br, I, etc.) ou groupes métalloïdiques (CO^3, SO^4, AzO^6, etc.).

L'oxygène est toujours électro-négatif et le potassium toujours électro-positif.

On admettra *que les corps ont une tendance d'autant plus grande à se combiner avec un élément, pris comme terme de comparaison, qu'ils sont, dans la série, plus éloignés de cet élément.*

En chimie, cette puissance d'attraction n'est autre chose que la force d'affinité, et la mesure de cette quantité est donnée par les chaleurs de combinaison.

On pourra donc établir *a priori*, si notre hypothèse se vérifie, la série électro-chimique des corps, en comparant la chaleur de formation de chacun d'eux avec un même élément; on choisira de préférence ce dernier parmi les corps qui occupent une place voisine des extrémités de la série.

L'oxygène qui se trouve au sommet de l'échelle serait tout indiqué.

TABLEAU 2

numéros	NOMS des COMPOSANTS	COMPOSÉS			
		FORMULES	ÉQUIVALENTS	ÉTATS	CHALEUR DE FORMATION
			gr		calories
5	Chlore.	H Cl	36,5	dissous.	39,3
6	Brome.	H Br	81	»	29,5
7	Iode.	H I	128	»	13,2
15	*Hydrogène*.	—	—	—	—
5	Chlore.	Ph Cl^3	137,5	liquide.	75,8
6	Brome.	Ph Br^3	271	liquide.	54,6
7	Iode.	Ph I^3	412	solide.	26,7
8	*Phosphore*.	—	—	—	—
6	*Brome*	—	—	—	—
8	Phosphore.	Ph Br^3	271	liquide.	54,6
9	Arsenic	A^s Br^3	315	solide.	59,1
11	Bore	B Br^3	251	liquide.	73,1

Mais il faut remarquer que cette comparaison ne doit s'effectuer que sur des composés semblables, c'est-à-dire sur des composés comprenant le même nombre d'atomes semblablement placés; de plus, les composés considérés doivent se trouver à l'état de dissolution.

D'après Favre, en effet, « les corps à l'état solide ne présentent pas des conditions comparables; on ne connaît pas toujours les quantités variables de chaleur mises en jeu, lorsque le corps se constitue dans tel ou tel système cristallin, ou à des états différents de cohésion, en passant à l'état solide.

Tout semble indiquer que les conditions de comparabilité se trouvent remplies lorsque les corps sont dissous.

Suivant cette observation, nous avons préféré prendre comme termes de comparaison pour les métaux le chlore, le brome et l'iode, au lieu de l'oxygène.

La plupart des sels formés par ces halogènes avec les métaux sont, en effet, de constitution semblable et se présentent à l'état dissous.

Le tableau III comprend les chaleurs de formation des principaux proto-chlorures, proto-bromures et proto-iodures métalliques. On remarque que la chaleur de formation de ces composés va en augmentant, dans l'ordre du tableau n° I, à mesure que l'élément considéré s'éloigne, dans la série électro-chimique, du corps pris comme terme de comparaison, à quelques petites ex-

TABLEAU 3

Chaleur de formation des chlorure, bromure, iodure métalliques à l'état dissous.

NUMÉROS	NOMS des COMPOSANTS	PROTO-CHLORURES			PROTO-BROMURES			PROTO-IODURES		
		FORMULES	ÉQUIVALENTS	CHALEUR DE FORMATION	FORMULES	ÉQUIVALENTS	CHALEUR DE FORMATION	FORMULES	ÉQUIVALENTS	CHALEUR DE FORMATION
			gr	calories		*gr*	calories		*gr*	calories
15	Hydrogène	H Cl	3,5	39,3	H Br	81	29,5	H I	128	13,2
16	Or	—	—	—	—	—	—	—	—	—
17	Platine	—	—	—	—	—	—	—	—	—
18	Mercure	Hg Cl	135,5	29,8	Hg Br	180	26,4 (S)	Hg I	227	17 (S)
19	Argent	Ag Cl	143,5	29,2 (S)	Ag Br	188	23,7 (S)	Ag I	236	14,3 (S)
20	Cuivre	Cu Cl	67,2	31,3	Cu Br	111,7	21,5	—	—	—
21	Bismuth	—	—	—	—	—	—	—	—	—
22	Etain	Sn Cl	94,5	40,6	Sn Br	139	31,5	—	—	—
23	Plomb	Pb Cl	139	39,2	Pb Br	183,5	29,5	Pb I	230,5	21 (S)
24	Cobalt	Co Cl	65	47,4	—	—	—	—	—	—
25	Nickel	Ni Cl	65	46,8	—	—	—	—	—	—
26	Fer	Fe Cl	63,5	50	—	—	—	—	—	—
27	Zinc	Zn Cl	68	56,4	Zn Br	112,5	46,6	Zn I	159,5	30,3
28	Magnésium	Mn Cl	63	64	—	—	—	—	—	—
29	Aluminium	—	—	—	—	—	—	—	—	—
29 *bis*	*Ammonium*	Az H^4 Cl	53,5	72,7	Az H^4 Br	98	62,9	Az H^4 I	145	47,1
30	Magnésium	Mg Cl	47,5	93,5	—	—	—	—	—	—
31	Calcium	Ca Cl	55,5	93,8	Ca Br	100	84	Ca I	147	67,7
32	Baryum	—	—	—	—	—	—	—	—	—
32 *bis*	*Strontium*	Sr Cl	79,3	97,8	Sr Br	123	88	—	—	—
33	Lithium	Li Cl	42,5	101,9	—	—	—	—	—	—
34	Sodium	Na Cl	58,5	96,2	Na Br	103	86,4	Na I	150	70,1
35	Potassium	K Cl	74,6	100,8	K Br	119,1	91	K I	166,1	74,7

ceptions près, de sorte que nous pouvons énoncer le théorème suivant :

Si nous considérons une combinaison quelconque, soit de deux métalloïdes, d'un métalloïde et d'un métal, ou de deux métaux ensemble, nous pourrons déterminer a priori *quel sera l'élément électro-négatif rien qu'en regardant la position qu'ils occupent dans les tableaux nos I et III ; c'est celui qui sera placé le premier dans la série, qui jouera le rôle d'élément électro-négatif par rapport à l'autre placé après.*

On constate toutefois une anomalie assez marquée dans les chaleurs de formation des composés hydrogènes rapportées à celles des composés du mercure, de l'argent et du cuivre ; les premières sont plus grandes que les secondes, alors qu'elles devraient être plus faibles, si l'hydrogène était réellement plus électro-négatif que ces métaux.

Cependant les nombres qui représentent les chaleurs de formation des composés compris dans le tableau III doivent être considérés comme exacts, ayant été déterminés à diverses reprises par plusieurs expérimentateurs ; ce sont ceux qu'a adoptés M. Berthelot dans sa *Mécanique chimique*.

Et, de fait, la chaleur de formation des composés hydrogénés doit être supérieure à celle des composés qui renferment comme éléments électro-positifs le mercure, le plomb ou le cuivre, puisque l'hydrogène déplace ces métaux dans la plupart de leurs composés.

Dans la série électro-chimique, l'hydrogène devrait être placé entre le plomb et le cobalt.

Du reste, dans l'électrolyse du mélange d'un sel ou d'un acide (composé hydrogéné), l'hydrogène apparaît à la cathode avant ou après le métal qui entre dans la base du sel, suivant les conditions mêmes de l'expérience.

Dans le cas d'un mélange, on ne doit pas tenir seulement compte des chaleurs de formation, pour déterminer le sens de l'électrisation d'un des éléments par rapport aux autres, mais aussi de leur état réciproque de *dilution*.

La chaleur de formation des composés du lithium étant plus grande que celle des composés du potassium, c'est le lithium qui, suivant notre principe, peut être considéré comme étant le plus électro-positif des métaux.

Pour ce qui concerne le classement des métalloïdes, nous avons dû procéder par des comparaisons partielles.

Si l'on examine le tableau II, on constate que, dans la première série, les composés hydrogénés du chlore de brome et de l'iode

présentent des chaleurs de formation de plus en plus grandes, à mesure que l'élément considéré s'éloigne de l'hydrogène dans la série.

Même observation pour les composés phosphorés de cet élément.

Enfin, les composés bromés du phosphore, de l'arsenic et du bore dégagent dans leur formation des quantités de chaleur conformes à la proposition que nous avons énoncée.

Les lois régissant les phénomènes électrolytiques sont au nombre de quatre.

I. — Loi de quantité.

Cette loi, dérivée des lois de Faraday et de Becquerel, a pu être énoncée plus rigoureusement après les travaux récents de Wéber, Mascart, Kohlrausch, lord Rayleigh et Sedwig.

Lorsqu'un électrolyte est traversé par une quantité d'électricité égale à 96 512 coulombs, le poids des matières décomposées est représenté en valeur absolue par leurs poids moléculaires exprimés en grammes, avec cette condition que l'élément électro-négatif entre avec un seul équivalent dans la formule chimique.

Prenons par exemple :

Du chlorure de sodium Na Cl.
— bichlorure d'étain $Sn Cl^2$.
— fluorure d'aluminium $Al^2 Fl^3$.

Si le courant est d'une tension suffisante lorsqu'une quantité de 96 512 coulombs aura traversé ces électrolytes, le poids des matières décomposées sera représenté par les formules électrolytiques suivantes :

Chlorure de sodium.	Na Cl,
Bichlorure d'étain	$Sn \frac{1}{2} Cl$,
Fluorure d'aluminium . . .	$Al \frac{2}{3} Fl$,

dans lesquelles l'élément électro-négatif n'est représenté qu'avec un seul équivalent; les poids moléculaires de ces matières étant :

Cl, 35,5 — Na, 23 — Sn, 59 — Al, 13,7 — Fl, 17.

Nous aurons donc pour un bain de chlorure de sodium, après le passage de 96 512 coulombs, 35,5 *g* de chlore et 23 de sodium.

Pour le bichlorure d'étain :

$$35{,}5\ g \text{ de chlore et } \frac{59}{2} = 24{,}5 \text{ d'étain};$$

et enfin, pour le fluorure d'aluminium :

$$17\ g \text{ de fluore et } \frac{2 \times 13{,}7}{2} = 9\ g \text{ d'aluminium.}$$

On donne à la quantité 96 512 le nom d'*équivalent d'électricité* et on la représente généralement par le symbole Q, que l'on peut écrire :

$$Q = I\theta$$

I étant l'intensité exprimée en ampères, et θ le temps en secondes.

L'équivalent électro-chimique d'un élément représente, en valeur absolue, la quantité de cet élément mise en liberté au pôle positif par un coulomb, soit :

eq, le symbole de l'élément électro-chimique ;

$\mathfrak{E}q$, le symbole de l'équivalent chimique.

D'après la définition de la loi de quantité, on écrira :

$$eq = \frac{\mathfrak{E}q}{96\,512}.$$

Pour calculer le poids des éléments mis en liberté à chacun des pôles par une quantité d'électricité $q = (I_1\theta_1)$, on multiplie, pour les corps qui se portent au pôle positif, leur équivalent électro-chimique par le nombre de coulombs qui a traversé l'électrolyte et, pour les éléments électro-négatifs, on effectue le même produit en l'affectant du coefficient avec lequel ces éléments entrent dans la formule électrolytique. On aura donc :

$$\text{(Pôle positif) } p = eq \times (I_1\theta_1)$$

$$\text{(Pôle négatif) } p_1 = eq \times (I_1, \theta_1) \times \frac{m}{n}$$

n, étant le degré de l'équivalent du corps électro-négatif, et m, celui du corps électro-positif.

II. — Loi de Thomson.

Cette loi, déterminant la force électromotrice minimum nécessaire à la décomposition de l'électrolyte, est ainsi conçue :

La force électromotrice minima est proportionnelle à la chaleur de formation de la molécule électrolytique, avec cette condition que l'élément électro-négatif entre dans la formule chimique avec un seul équivalent.

En prenant le gramme comme unité de poids moléculaire, on peut écrire :

$$\frac{E(I\theta)}{g} = 425 \times c$$

la quantité $(I\theta)$ devant rester égale 96 512 coulombs, il vient :

$$\frac{96\,512 \times E}{9{,}808} = 425 \times c$$

c, représentant ici la chaleur de formation exprimée en calories, et 425, l'équivalent mécanique de la chaleur, on tire :

$$E = 0{,}04355\ c$$

E, exprimé en volts.

La différence de potentiel entre les électrodes, nécessaire au passage du courant sera donc représentée par une expression de la forme :

$$e = E + \rho\, i$$

e, étant la différence de potentiel ;
E, la force contre-électromotrice de décomposition ;
ρ, la résistance de l'électrolyte ;
i, l'intensité du courant.

Le rendement H du système sera proportionnel à la différence de potentiel entre les électrodes et on aura, K étant un coefficient numérique et P représentant le poids de métal déposé :

$$P = K i,$$

Le travail à effectuer sera :

$$T = K_1\, e i,$$

et

$$H = \frac{P}{T} = \frac{K}{K_1}\, e.$$

III. — Loi de Joule.

Cette loi permet de se rendre compte facilement que la chaleur dégagée par le passage du courant à travers l'électrolyte *est proportionnelle à l'intensité et au carré de la résistance de l'électrolyte.*

On a évidemment comme expression du travail effectué par le passage du courant en posant :

$$(e - E) = \varepsilon_a$$
$$W = \varepsilon_a i,$$

mais, $\varepsilon_a = \rho i$,
d'où, $W = \rho i^2$.

IV. — Loi de Sprague.

Cette loi est la plus importante de l'électrolyse. On peut la formuler ainsi :

L'ordre de décomposition des matières formant un électrolyte suit l'ordre des chaleurs de formation. Ce sont celles qui ont la moindre chaleur de formation qui sont décomposées les premières.

Ceci est évident *a priori* : prenons un électrolyte composé de deux matières dont la chaleur de formation de la première est A et celle de la seconde B, plus grande que A.

D'après la loi de Thomson, on aura comme force électromotrice minima de décomposition :

$$E_A = A \times 0{,}0435 \text{ et } E_B = B \times 0{,}0435.$$

Prenons une différence de potentiel aux électrodes e et un courant i, la force électromotrice de circulation sera au travers de deux matières :

$$\varepsilon_\alpha = (e - E_A) \quad \varepsilon_\beta = (e - E_B),$$

ε_α étant plus grand que ε_β, le courant total se comportera suivant les lois de Kirchöff, c'est-à-dire sera proportionnel aux résistances apparentes dans les deux dérivations formées à travers les deux matières composant le bain.

Nous entendons ici par résistances apparentes les quantités

$$E_A = (e - \rho I_A) \text{ et } E_B = (e - \rho I_B),$$

e restant le même; ρ pouvant être, d'après MM. Lippmann et Poincarré, considéré comme constant; I_A et I_B représentent l'intensité des deux dérivations dont la somme est égale au courant total I. Il est évident que plus $E_{A \text{ ou } B}$ sera petit, plus $I_{A \text{ ou } B}$ deviendra grand; ce qui démontre la rigoureuse exactitude de la loi de Sprague.

On peut aussi se rendre compte de l'exactitude de cette loi, en remarquant que, les chaleurs de formation représentant, somme toute, un nombre donné de kilogrammètres, pour produire la dissociation des matières, il faudra effectuer inversement le même travail. On voit immédiatement qu'entre deux matières ayant une chaleur de formation différente, c'est celle qui aura la moindre qui sera décomposée la première.

Électro-métallurgie par voie humide.

Les procédés employés se classent en quatre catégories, savoir :

1° La galvanoplastie ou reproduction des modèles;

2° La formation des dépôts métalliques;

3° Le raffinage des métaux;

Et 4° le traitement des minerais.

On pourrait aussi classer les procédés électrolytiques en méthodes employant des anodes solubles et méthodes employant des anodes insolubles.

La différence entre ces deux méthodes réside dans l'énergie dépensée; la première permettant d'utiliser l'énergie due à la dissolution de l'anode dans l'électrolyse, exige beaucoup moins de travail que la seconde.

Si on considère (1) l'électrolyse au sulfate cuivrique, la décomposition du sel absorbe 28,4 calories *(gr d)* par équivalent chimique *(m m g)*, ce qui représente une énergie de 1,07 kilowat-heure par kilogramme de métal réduit. Lorsque l'anode est insoluble, pour dissoudre l'électrolyte il faut dépenser ce travail augmenté de celui de l'échauffement du bain par l'effet Joule.

Si, au contraire, on fait usage d'une anode en cuivre, la dissolution de ce métal dans l'acide libéré par l'électrolyse restitue intégralement 28,4 calories par équivalent, en sorte que la seule dépense nécessaire au dépôt de cuivre sur la cathode correspond à l'effet Joule.

Dans l'électrolyse par voie humide, comme dans la fusion ignée d'ailleurs, la densité du courant a une grande importance. Une trop grande densité est susceptible de soustraire un métal très oxydable à l'attaque du bain. Voici, d'après M. Gore, les valeurs de la densité de courant et de la différence du potentiel à appliquer à l'électrolyse de quelques sels :

TABLEAU 4.

NATURE DU SEL	I PAR dcm^2 DU CATHODE	DIFFÉRENCE DE POTENTIEL AUX ÉLECTRODES e
Sulfate de cuivre.	1,2 à 1,7	0,7
Cyanure de cuivre	0,6	3,0
Cyanure d'argent.	0,5	1,0
Cyanure d'or.	0,1	4,0
Sulfate double de nickel et d'ammoniac	0,3 à 0,6	2 à 3

Nous ne nous arrêterons pas sur les procédés de la galvanoplastie découverts par Jacobi, ni sur la formation des dépôts métalliques.

Nous aborderons immédiatement les questions du raffinage des métaux et du traitement des minerais.

(1) Éric Gérard. *Électro-métallurgie.*

A. Traitement des minerais.

Les procédés métallurgiques, en général, sont basés sur le principe du travail maximum formulé par Berthelot.

Lorsque plusieurs éléments ou composés chimiques se trouvent en présence et ne sont soumis à l'influence d'aucun agent extérieur, le *sens* des réactions est indiqué par le signe thermique, *les corps qui se produisent avec le plus grand dégagement de chaleur tendant à se former de préférence.*

Lorsqu'on connaît les chaleurs de formation des composés possibles, on peut fixer, *a priori*, les réactions, déterminer la composition des corps en se basant uniquement sur le principe *du travail* maximum. Il faut tenir compte, toutefois, de l'influence du dissolvant et de l'état des corps étrangers.

La réaction, pour se produire, peut avoir besoin d'une énergie étrangère. En métallurgie, c'est la chaleur que l'on emploie le plus souvent.

Les principaux procédés métallurgiques s'appuient sur le traitement des oxydes, que ceux-ci existent tout formés dans les minerais naturels ou que les sels contenus dans ces derniers aient été transformés en oxyde. Cette considération a conduit à établir un tableau comprenant la chaleur de formation des principaux oxydes.

TABLEAU 5.

Chaleur et formation des oxydes.

ÉLÉMENTS ÉLECTRO-POSITIFS	MOLÉCULES ÉLECTROLYTIQUES		CHALEURS DE FORMATION	
	FORMULES	POIDS *gr*	ÉTAT SOLIDE *gr. calories*	ÉTAT DISSOUS *gr. calories*
Or	Au $^{2}/_{3}$ O	74	1,9	—
Argent (pro)	Ag O	116	3,5	—
Argent (per)	Ag $^{2}/_{3}$ O	80	3,5	—
Platine	Pt O	107	7,5	—
Palladium (per)	Pd $^{1}/_{2}$ O	34,5	7,6	—
Palladium (pro)	Pd O	61	10	—
Carbone (pro)	C O	14	13	—
Mercure (per)	Hg O	108	15,5	—
Cuivre (per)	Cu O	39,7	20,2	—
Nickel (per)	Ni $^{2}/_{3}$ O	27,7	20,3	—
Cuivre (pro)	Cu^{2} O	71,4	21	—
Mercure (pro)	Hg^{2} O	208	21,1	—
Antimoine (per)	Sb $^{1}/_{3}$ O	32	22,9	—
Bismuth	Bi $^{1}/_{3}$ O	78	23	—
Thallium	Tl O	212	21,5	20
Cobalt (per)	Co $^{2}/_{3}$ O	27,7	25,1	—
Plomb	Pb O	111,5	25,5	—
Antimoine (pro)	Sb $^{1}/_{2}$ O	48	27,9	—
Manganèse (per)	Mn $^{1}/_{2}$ O	21,8	29	-
Antimoine (hyp)	Sb $^{1}/_{4}$ O	38	31,1	—
Nickel (pro)	Ni O	37,5	30,7	—
Fer (per)	Fe $^{2}/_{3}$ O	26,7	31,9	—
Cobalt (pro)	Co O	37,5	32	—
Cadmium	Cd O	64	33,2	—
Fer (magnétique)	Fe $^{3}/_{4}$ O	29	33,4	—
Etain (per)	Sn $^{1}/_{2}$ O	37,5	34	—
Etain (pro)	Sn O	67	34,9	—
Fer (pro)	Fe O	36	34,5	—
Hydrogène	H O	9	35,2	34,5
Zinc	Fn O	40,5	43,2	—
Manganèse (pro)	Mn O	35,6	47,4	—
Potassium	K O	47,1	48,6	82,3
Carbone (per)	C $^{1}/_{2}$ O	11	50	49,8
Sodium	Na O	30	50,1	77,6
Silicium	Si $^{1}/_{2}$ O	15	54,8	51,9
Aluminium	Al $^{2}/_{3}$ O	17,1	65,3	—
Strontium	Sr O	51,8	65,7	79,1
Baryum	Ba O	76,5	X	X + 14
Calcium	Ca O	28	66	75
Magnésium	Mg O HO	29	74,9	—
Lithium	Li O	15	70	83,3

D'après l'ordre observé dans ce tableau, les éléments qui en font partie réduisent les oxydes qui les précèdent.

On voit que la place du carbone légitime le choix qu'on en a fait comme principal réducteur des métaux proprement dits.

Passons en revue les principaux procédés métallurgiques et indiquons pour chaque classe les minerais qui y sont traités :

La métallurgie d'un métal subit deux phases bien distinctes :

1° Préparation mécanique des minerais dont l'étude est hors de notre cadre ;

2° Traitement métallurgique proprement dit.

Les traitements métallurgiques peuvent se diviser en deux classes :

1° Méthodes par séparation ;

2° Méthodes par réduction.

Les méthodes par séparation se divisent en deux groupes :

A. *Voie sèche.*

(*a*) Extraction de l'or des minerais se présentant sous forme de sable où le métal est disséminé en particules plus ou moins fines ;

(*b*) Extraction du cuivre natif ;

(*c*) Extraction du platine.

B. *Voie humide.*

(*a*) Procédé d'amalgation américaine de l'argent ;

(*b*) Méthode du Hartz dans les usines d'Ocker et de Lauthental, où le cuivre noir argentifère est dissous par l'action successive de l'air et de l'acide sulfurique qui laisse l'argent à l'état métallique et qui transforme le cuivre à l'état de sulfate, lequel sera réduit par la fonte ;

(*c*) Minerais d'or traités par le chlore en dissolution ou même gazeux. Le chlorure d'or est précipité ensuite par l'hydrogène sulfuré ou le sulfate ferreux ;

(*d*) Purification du mercure ;

(*e*) Procédés où l'élément à retirer se trouve en une solution d'où il peut être précipité.

Les méthodes par réduction sont directement appliquées aux minerais lorsque le métal à extraire s'y trouve à l'état d'oxyde, ou après un traitement transformant le sel naturel en oxyde.

A. *Réduction par le carbone.*

Fer. — Oxyde magnétique, en Laponie, Norvège, Suède, Canada, etc.

Hématite rouge ou sesquioxyde, dans l'île d'Elbe et le Devonshire.

Hématite brune ou sesquioxyde hydraté.

Carbonate spathique, Erzberg en Styrie.

Fer argileux.

Cuivre. — Natif au lac Supérieur, au Chili, au Pérou, en Bolivie, dans l'Oural, dans les Cornouailles, en Espagne.

Cuivre oxydulé, dans l'Oural et dans l'Amérique du Sud.

Carbonate brun, dans l'Hindoustan.

Carbonate bleu, ou azurite, à Chessy.

Carbonate vert, ou malachite, en Sibérie, sur les côtes d'Afrique, au Sud du Sénégal, dans l'Amérique du Sud.

Cuivre. — Cuivre pyriteux (après grillage), à Rio Tinto, Huelva, Agordo, Taklun, Christiania, Saint-Bel, Freyberg, etc.

Cuivre panaché, sulfure de fer et de cuivre, en Toscane, en Californie.

Cuivre gris, ou arsénio-sulfures et antimonio-sulfures, renfermant aussi du nickel, du cobalt, du plomb, du zinc.

Étain. — Oxyde d'étain, dans le comté des Cornouailles, en Espagne, en Saxe, en Bohême, au Chili, au Mexique, aux Indes, en France dans le Morbihan.

Zinc. — Oxyde rouge de zinc.

Calamine ou carbonate de zinc.

Blende ou sulfure de zinc.

Plomb. — Galène ou sulfure de plomb.

Clausthalite ou séléniure de plomb.

Le plomb carbonaté, sulfaté, chlorophosphaté, molybdaté.

Cadmium. — Sulfure de cadmium qui se trouve mélangé au sulfure de zinc.

Chrome. — Chromate de plomb, fer chromé.

Potassium. — Carbonate de potassium.

Sodium. — Carbonate de sodium.

Manganèse. — Oxydes.

B. *Réduction par d'autres métaux.*

Potassium. — De la potasse par le fer.

Ammonium. — A l'état de gaz ammoniac par la potasse ou la soude, agissant sur le sulfate ou chlorure d'ammonium.

Baryum. — De la baryte par le potassium.

Strontium. — De la strontiane par le potassium.

Calcium. — De la chaux par le potassium, de l'iodure de calcium par le sodium.

Magnésium. — Du chlorure anhydre du magnésium par le sodium.

ALUMINIUM. — Du chlorure anhydre d'aluminium par le sodium ; du fluorure d'aluminium par le sodium ; du chlorure ou du fluorure d'aluminium par le fer et le cuivre (formation d'alliages).

Dans ces dernières années, l'extraction des métaux de leurs minerais par la voie électrolytique a fait l'objet de nombreuses et intéressantes tentatives ; c'est d'ailleurs ce que nous nous proposons d'examiner.

Les premières études dans ce sens sont dues à Becquerel, qui, dès 1854, essayait la réduction des minerais d'argent amenés à l'état de chlorure, à l'aide d'un courant produit par des lames de zinc trempant dans le bain. La cathode, dans ces expériences, était en plomb.

La méthode générale de ce mode de traitement consiste à mettre les minerais en solution dans l'eau après les avoir transformés, soit en sulfates, soit en chlorures, et à les électrolyser par le courant d'une dynamo, en employant une *anode insoluble* en charbon ou en plomb.

L'inconvénient inhérent à ce procédé est la décomposition de l'eau en pure perte dès que la force électromotrice de polarisation dépasse 1 volt et demi (1).

MM. Blas et Miest sont parvenus à tourner la difficulté de la manière suivante] et ont imaginé le procédé dit à *anode soluble :* ayant remarqué, que les sulfures métalliques sont, en général, bons conducteurs, ils ont songé à les employer comme anodes, dans une solution du métal à réduire, le bain servant uniquement de véhicule au métal qui se transporte de l'anode en sulfure, à la cathode. Le soufre provenant de la décomposition est réduit à l'état de boue et tombe au fond de la cuve. La force électromotrice nécessaire, dans ce cas, n'est que de 0,22 volt, et il n'y a, par conséquent, pas décomposition de l'eau, ce qui constitue une sérieuse économie d'énergie électrique. Ce procédé a été perfectionné par M. Marchèse, qui en a fait une application à Lestri-Levante (Italie).

On traite, dans cette usine, des chalcopyrites à gangues serpentineuses, mélangées à la pyrite de fer. Ces matières contiennent environ 15 0/0 de cuivre.

Nous emprunterons à M. Eric Gérard la description de cette industrie.

(1) La chaleur de formation de l'eau étant 34,5 calories, on a décomposition de l'eau dès que $E = 0{,}0435 \times 34{,}5 = 1{,}5$ volt.

TRAITEMENT DES SULFURES DE CUIVRE

Les minerais sulfurés sont fondus au four à manche, puis les mattes sont coulées dans des moules en fonte en plaques qui doivent servir d'anodes. Ces plaques, dont la conductibilité électrique est suffisante, communiquent avec le circuit extérieur par des bandelettes de cuivre emprisonnées dans les anodes pendant la fusion. Les mattes contiennent environ 35 parties de cuivre, 38 de fer et 27 de soufre.

Le bain électrolytique est obtenu en traitant au four à réverbère des minerais riches et en soumettant les produits du grillage à l'action de l'acide sulfurique dilué dans des récipients en plomb à grande surface ; le traitement au réverbère doit être conduit de manière à obtenir des oxydes et non des sulfates, afin d'éliminer autant que possible le fer dont l'oxyde n'est pas soluble dans l'acide sulfurique étendu. La solution de sulfate de cuivre contenant du sulfate de fer est amenée dans des bacs de traitement dont les cathodes sont constituées par des lames de cuivre très peu épaisses, placées dans des cadres en bois pour éviter leur gondolement.

La présence de la pyrite de fer dans les mattes sulfurées nécessite de grandes précautions dans la conduite des opérations, afin d'éviter que le fer ne se dépose avec le cuivre sur la cathode. Il est vrai que la force électromotrice de polarisation du sulfure de fer est supérieure à celle du sulfure de cuivre, mais il ne faut pas perdre de vue que, pour maintenir un courant intense dans le bain, la différence de potentiel aux électrodes doit dépasser ces forces électro-motrices. Il en résulte que le sulfure de fer est décomposé et que le fer passe dans le bain à l'état de sulfate ferrique qui tend à se réduire en sulfate ferreux et en fer à la cathode. Le sel cuivrique de la solution se réduit donc peu à peu et est remplacé par des sels de fer.

De nombreuses expériences de laboratoire ont montré que le dépôt de cuivre reste net et brillant tant qu'il subsiste du cuivre dans la solution. On peut réaliser cette condition en provoquant un renouvellement continu des liquides dans des bacs électrolytiques, par une circulation établie entre ces bacs et les bassines de dissolution en plomb, où le sulfate ferrique dissout une certaine quantité de cuivre. La solution est amenée par un chenal en bois aux bacs disposés en cascades par séries de six ; après avoir traversé ceux-ci, elle est reprise par des pompes centrifuges qui

la ramènent aux bassins de dissolution. Elle doit être renouvelée de temps à autre, parce qu'à la longue elle se sature de sulfate ferreux, et, dans cet état, ne dissout plus le cuivre.

Le courant est fourni par vingt machines Siemens, excitées en dérivation afin d'éviter les renversements de pôles dans les inducteurs. Chaque dynamo dessert douze bacs réunis électriquement en série et précipite journellement 100 *kg* de cuivre en développant 10 volts aux bornes et 250 ampères; la différence de potentiel entre les bornes de chaque bac électrolytique est donc inférieure à 1 volt. La force électromotrice de polarisation est faible, 0,45 volt environ.

D'après les données citées ci-dessus, la dépense d'énergie est $\frac{10 \times 250 \times 24}{100} = 600$ vatts-heure par kilogramme de cuivre.

En admettant que cette énergie est produite par des machines à vapeur consommant 1 *kg* de charbon par cheval-heure et des dynamos d'un rendement industriel de 90 0/0, la consommation du combustible sera :

$$\frac{600}{736} \times \frac{100}{90} = 0{,}91 \text{ } kg.$$

Le traitement des sulfures par la méthode ordinaire exige environ 3 *kg* de charbon, soit trois fois plus que la méthode électrolytique, laquelle permet d'ailleurs d'utiliser des forces naturelles.

Lorsque la solution est devenue trop riche en sulfate de fer, elle est soumise à l'action sulfhydrique provenant du traitement des déchets des fours à manche par l'acide sulfurique; le cuivre est précipité à l'état de sulfure qui passe au réverbère; le sulfate de fer est réduit en sulfate ferreux que l'on a fait cristalliser. Les résidus des anodes sont d'abord traités pour en retirer le soufre, puis ajoutés aux minerais.

En résumé, les produits de cette industrie sont : 1° du cuivre pur obtenu avec une perte de métal très faible et une consommation de combustible minime; 2° du soufre, dont la valeur représente les frais de fusion et de main-d'œuvre; 3° du sulfate de fer dont la vente compense l'achat de l'acide sulfurique.

Nous avons exposé avec quelque développement ce procédé, bien qu'il soit encore dans la phase des essais, afin de montrer les difficultés qu'un traitement métallurgique théoriquement très simple peut présenter dans l'application. La composition des minerais de cuivre présente en effet des variations qui exigent des modifications continuelles dans la conduite du traitement et occa-

sionnent des difficultés dont une longue expérience peut seule venir à bout.

(B) **Raffinage des métaux (Cuivre).**

Le raffinage du cuivre s'obtient ordinairement par une série de grillages successifs dans des fours ayant pour but l'oxydation des minerais.

Dans les premières opérations, la teneur en cuivre des produits traités augmente rapidement. On élimine assez vite les matières volatiles, les métalloïdes et les métaux auxquels le cuivre se trouve mélangé.

Néanmoins, à un certain moment, chaque opération n'améliore plus que très faiblement la qualité du métal et cela, malgré une dépense assez considérable de combustible, de sorte que l'on a essayé de tirer du cuivre pur des cuivres bruts au moyen de l'électrolyse.

Les cuivres à raffiner, coulés en plaques, contiennent de 90 à 95 0/0 de cuivre pur et forment l'anode d'un bain de sulfate de cuivre ; les matières étrangères sont généralement : soufre, arsenic, étain, or, antimoine, bismuth, zinc, aluminium, etc.

D'après M. Gore (*The electrolytic séparation of metals*), dans une solution acidulée de sulfate de cuivre, de fer, le zinc, le cadmium, le cobalt, ainsi que les métaux plus électro-positifs se dissolvent directement pendant l'électrolyse. L'antimoine, le bismuth, l'étain et la silice se dissolvent imparfaitement; le carbone, l'or, le platine et le soufre sont insolubles et se précipitent complètement. La présence du fer et du manganèse à l'anode donne lieu à des sels ferriques et manganiques qui se réduisent à l'état de protosels à la cathode en absorbant une partie de l'énergie du courant. La force électromotrice de polarisation étant faible, il convient de diminuer, autant que possible, la densité du courant, en vue de diminuer la force motrice.

Lorsque l'on emploie des anodes de cuivre contenant 98 0/0 de métal pur, la densité du courant peut aller jusqu'à 1 ampère par décimètre carré de cathode. La cathode est constituée au moyen de plaques de cuivre pur, et le métal de l'anode est transporté à la cathode. Le bain ne sert que de véhicule et les impuretés tombent sous forme de boues. On obtient par ce procédé un cuivre exceptionnellement pur.

Toujours, suivant M. Gore, pour raffiner 30 *t* de cuivre par

semaine, avec une densité de courant de 1 ampère par décimètre carré de cathode, il faut immobiliser 400 *t* de cuivre, ce qui représente un capital de 500 000 *f*, qui, ajoutés aux 250 000 *f*, prix auquel on évalue les bâtiments, forment une mise de fonds de 750 000 *f*. On installe généralement de 60 à 120 bains en tension pour la production d'une tonne en vingt-quatre heures ; les cuves sont en bois, garnies de plomb et contiennent huit anodes et neuf cathodes ; une circulation est établie afin d'assurer l'homogénéité des bains.

Une des premières usines qui ont appliqué ce système de raffinage électrolytrique est le Nord-Deutsche, affinerie de Hambourg, qui produit 2 1/2 *t* de cuivre pur par jour et recueille plus de 1 000 *kg* d'or par an dans les résidus.

Quelques essais ont été tentés par M. Keith, en vue du raffinage du plomb ; nous ne possédons aucune donnée certaine à cet égard et nous ne les signalerons que pour mémoire.

Électrolyse par fusion aqueuse.

M. Adolphe Minet, dans une communication à la Société internationale des électriciens, a été, croyons-nous, le premier à signaler ce mode d'électrolyse.

Il peut se faire que les résultats obtenus diffèrent beaucoup de ceux de l'électrolyse par voie humide et par fusion ignée ; aucune expérience sérieuse n'a encore été faite jusqu'à présent, de sorte que nous ne nous occuperons pas de cette partie de l'électrométallurgie.

Électrolyse par fusion ignée.

L'électrolyse par fusion ignée n'a été industriellement appliquée que depuis quelque temps seulement. Ce sont surtout les sels d'aluminium et les sels de magnésium qu'on a cherché à traiter par ce procédé.

Dans l'électrolyse par voie humide, les inconvénients sont, comme nous l'avons vu, graves et nombreux :

1° Les faibles densités de courant que l'on est obligé d'adopter ;

2° La surveillance constante qu'il faut leur accorder ;

3° Les grandes dimensions des bains ;

4° L'impossibilité de traiter les métaux ayant une grande affinité pour l'oxygène rend l'emploi de ce procédé très difficile.

Si on examine les dispositions afférentes aux deux modes d'électrolyse par voie humide et par fusion ignée, nous voyons

les grands avantages de cette dernière en ce qui concerne les dimensions des électrodes *(densité de courant)* et la chaleur perdue.

Nous laisserons la parole sur ces points à M. Adolphe Minet, qui, depuis trois ans, poursuit dans l'usine de MM. Bernard frères, à Creil, la réalisation du problème d'électrolyse par fusion ignée.

A. *Dimensions des électrodes.*

(α) *Voie humide.* — L'élément électro-positif se décompose à *l'état solide*. On a constaté que, pour que le dépôt s'opère régulièrement, les dimensions de la cathode devaient être proportionnelles à l'intensité du courant; autrement dit, qu'il existe pour chaque élément une *densité de courant* (intensité par centimètre carré) maximum au-dessus de laquelle le dépôt non seulement s'opère mal, mais encore est accompagné de phénomènes secondaires, comme ceux d'oxydation, qui nuisent à sa pureté et surtout à sa texture.

On a pu déterminer expérimentalement les surfaces S des cathodes, correspondant à un courant d'une intensité égale à 1 ampère, pour le cuivre au maximum et l'argent au minimum. Voici les résultats obtenus :

Éléments électro-positifs.	Surface de la cathode. S	Densité du courant. $d = \frac{1}{S}$
Cuivre au maximum	100 cm^2	0,01 ampère.
Argent au minimum	290 cm^2 environ	0,0034 —

On remarque que les valeurs de S correspondant à ces deux métaux sont proportionnelles à leurs *volumes moléculaires électrolytiques* V.

On calcule la valeur de V par l'expression :

$$V = \frac{eq}{\delta}$$

où eq représente l'équivalent électro-chimique de l'élément électro-positif: δ, sa densité.

Nous avons admis, pour tracer le tableau 6, que les surfaces de la cathode, correspondant à un courant de 1 ampère, devaient conserver cette proportionnalité pour tous les éléments. La sixième colonne du tableau donne les résultats d'un calcul basé sur cette hypothèse :

$$S = 2720\ V = KV.$$

Tableau 6

Volumes moléculaires des éléments électro-positifs.

NOMS DES ÉLÉMENTS ÉLECTRO-POSITIFS	FORMULES	DENSITÉ	CONSTANTES CORRESPONDANT A 1 AMPÈRE — ÉQUIVALENTS ÉLECTRO-CHIMIQUES eq *mgr*	CONSTANTES CORRESPONDANT A 1 AMPÈRE — VOLUMES MOLÉCULAIRES $V = \frac{eq}{\delta}$ *mmc*	SURFACE de la CATHODE pour 1 AMPÈRE (S = 2720 V) *cmq*
Manganèse (per). . .	$Mn^{1}/_{2}$	8	0,143	0,0179	48,5
Palladium (per). . .	$Pd^{1}/_{2}$	12,05	0,279	0,0228	62
Nickel (per).	$Ni^{2}/_{2}$	8,82	0,205	0,0232	63
Cobalt (per).	$Co^{2}/_{2}$	8,51	0,205	0,0240	65
Fer (per).	$Fe^{2}/_{2}$	7,84	0,194	0,0248	67,5
Chrome (per)	$Cr^{2}/_{2}$	7	8,182	0,0250	68
Fer (magnétique) . .	$Fe^{2}/_{4}$	7,84	0,218	0,0278	75,5
Nickel (pro).	Ni	8,82	0,306	0,0547	94,5
Or (per).	$Au^{2}/_{3}$	19,31	0,680	0,0352	96
Cobalt (pro).	Co	8,51	0,306	0,0358	97
Manganèse (pro). . .	Mn	8	0,286	0,0359	97
Aluminium (per). . .	$Aln^{2}/_{3}$	2,67	0,096	0,0368	97
Cuivre (per).	Cu	8,93	0,329	0,0370	100
Fer (pro).	Fe	7,84	0,290	0,0370	105,5
Antimoine (per). . .	$Sb^{1}/_{4}$	6,72	0,249	0,0380	100,5
Chrome (pro)	Cr	7	0,271	0,0380	103
Etain (per)	$Sn^{1}/_{2}$	7,29	0,306	0,0419	104
Palladium (pro). . .	Pd	12,05	0,549	0,0460	124
Antimoine.	$Sb^{1}/_{4}$	6,72	0,311	0,0468	125
Zinc	Zn	7,19	0,327	0,0468	127
Platine.	Pt	21,45	1,026	0,0478	130
Or.	Au	19,31	1,021	0,0529	144
Aluminium (pro). . .	Al	2,67	0,143	0,0535	146
Silicium.	Si	2,49	0,145	0,0580	158
Antimoine (pro) . . .	$Sb^{1}/_{3}$	6,72	1,243	0,0620	169
Cadmium.	Cd	8,60	0,580	0,0670	182
Magnésium	Mg	1,74	0,124	0,0712	194
Argent (per).	$Ag^{2}/_{2}$	10,51	0,745	0,0713	194
Bismuth (per). . . .	$Bi^{1}/_{3}$	9,95	0,726	0,0730	199
Cuivre (pro).	Cu^{2}	8,98	0,658	0,0736	200
Mercure (per). . . .	Hg	13,60	1,036	0,0762	207
Etain (pro)	Sn	7,29	0,611	0,0833	227
Sélénium	Se	4,25	0,389	0,0920	250
Plomb	Pb	11,37	1,072	0,0943	256
Argent.	Ag	10,51	1,118	0,0164	290
Lithium.	Li	0,50	0,076	0,1280	348
Calcium.	Ca	1,58	0,207	0,1310	356
Baryum.	Ba	»	0,711	»	»
Mercure (pro). . . .	Hg^{2}	13,60	2,068	0,1524	415
Strontium.	St	2,54	0,453	0,1780	484
Thallium.	Tl	11,86	2,113	0,1780	484
Antimoine.	Sb	6,72	1,243	0,1850	502
Bismuth	Bi	9,95	2,176	0,2100	595
Sodium.	Na	0,97	0,239	0,2460	670
Potassium.	K	0,86	0,406	0,4720	1 280

Le coefficient K = 2 720 est tiré de la valeur S, trouvée expérimentalement pour le cuivre; on a, en effet, avec ce métal :

$$S = 100,\ V = 0{,}0368,\ K = \frac{100}{0{,}0368} = 2\,720.$$

En admettant que notre hypothèse ne se vérifie pas rigoureusement, on ne s'écartera pas beaucoup de la vérité en disant que la surface de la cathode, pour une intensité de 1 ampère, doit être de 100 cm^2 en moyenne dans l'électrolyse par voie humide.

(β) *Fusion ignée.* — La température du bain étant, en général, supérieure à la température de fusion du métal déposé, celui-ci prend naissance à l'*état liquide* et l'intensité du courant par rapport à la surface de la cathode peut être considérablement augmentée, sans doute à cause de cet état.

Dans les expériences entreprises sur l'électrolyse par fusion ignée, la densité du courant, à la cathode, a atteint une valeur deux cent cinquante fois plus grande dans l'électrolyse des sels de cuivre par voie humide.

On a pu faire passer, en effet, en marche régulière, 2,5 ampères par centimètre carré, tandis que la densité du courant, correspondant à l'électrolyse des sels de cuivre ne dépassait guère que 0,01 ampère.

Nous croyons que la densité du courant, avec un électrolyte fondu, n'est limitée que par la section droite qu'il est nécessaire de donner aux électrodes, pour que celles-ci ne subissent aucune détérioration par le passage du courant. La section droite des électrodes est aussi fonction de l'intensité du courant et ne saurait être diminuée indéfiniment.

B. *Force électromotrice de décomposition.*

La force électromotrice minima de décomposition est toujours plus faible pour l'électrolyse par fusion ignée, et cela pour deux raisons : l'électrolyte se trouvant à l'état anhydre et fondu, la chaleur de décomposition se rapporte aux composés et aux corps constituants, pris à l'état solide ; or, cette chaleur est le plus souvent inférieure à celle qui correspond à l'état dissous, et c'est cette dernière qu'il faut prendre pour le calcul de la force électromotrice minima dans l'électrolyse par voie humide.

Il n'est pas démontré, en second lieu, que l'électrolyte ne subit pas un commencement de ségrégation moléculaire, à cause de la haute température à laquelle il est porté au moment où s'exerce

l'action du courant; en d'autres termes, qu'à cette température, sa chaleur de formation ou de décomposition est plus faible, et plus petite, par suite, la force électromotrice minima qui y correspond.

C. *Chaleur perdue.*

L'expérience démontre qu'elle est sensiblement la même dans les deux modes d'électrolyse; nous voulons parler de celle qui est développée par le passage du courant dans l'électrolyte. En effet, lorsqu'on passe de l'électrolyse par voie humide à l'électrolyse par fusion ignée, les dimensions des électrodes deviennent plus petites, il est vrai, mais restent en raison inverse de la conductibilité spécifique de l'électrolyte : leur écartement étant le même dans les deux cas, la résistance de l'électrolyte est constante. C'est, du moins, à cela que doit tendre l'expérimentateur, et, nous-même, nous nous sommes toujours placé dans ces conditions.

Ajoutons que la quantité de chaleur développée par le passage du courant dans l'*espace restreint* qui correspond à l'électrolyse par fusion ignée est assez grande pour maintenir l'électrolyte à l'état fondu, et que la consommation du charbon pour obtenir la première fusion et protéger la cuve qui renferme l'électrolyte contre un trop grand refroidissement est négligeable, comparée aux quantités d'énergie chimique et calorifique mises en jeu pendant l'électrolyse.

L'électrolyse par fusion ignée ne présente pas que des avantages, elle a aussi ses inconvénients dont les principaux sont : 1° la difficulté d'obtenir des bains fluides; 2° l'extrême tendance qu'ont les matières à se volatiliser.

Nous réservons l'examen de ces deux points pour le moment où nous étudierons d'une manière spéciale les procédés employés dans la fabrication de l'aluminium.

Les cuves employées dans l'électrolyse par fusion ignée sont, comme nous l'avons dit précédemment, de dimensions très restreintes. Elles sont chauffées extérieurement à moins que l'on n'emploie le courant lui-même comme agent calorifique, ce qui est assez facile avec les grandes quantités de courant usitées.

L'origine de la question remonte assez loin et les progrès réalisés ont été très rapides dans ces derniers temps. C'est Davy qui, en 1808, songea le premier à décomposer la potasse et la soude par de forts courants, afin d'en déterminer la constitution. Davy isola également le lithium en décomposant, par le même moyen, la lithine du chlorure anhydre de lithium.

Ce procédé a été perfectionné par M. Troost qui dispose le chlorure anhydre de lithium dans un creuset de fer hermétiquement fermé afin d'éviter les projections de chlorure.

Le magnésium a été isolé par Matthiessin qui faisait agir le courant électrique sur un mélange fondu de quatre équivalents de chlorure de magnésium (Mg Cl), trois équivalents de potassium (K Cl), un équivalent d'ammonium (Az A^4 Cl).

En Allemagne, M. Gretzel a repris ces procédés en les appliquant à un chlorure double de magnésium et de potassium qui est très commun à Strassfurth. On commence par en éliminer l'eau en chauffant ce chlorure dans des bassines en fonte. Après avoir obtenu du chlorure anhydre, on le porte dans des creusets en fer chauffés à feu nu. Dans l'intérieur du creuset, plonge un vase en terre réfractaire dont la paroi verticale est percée de trous rectangulaires. A l'intérieur de ce vase, on place une anode en charbon et, pour fermer le creuset, on emploie le support de l'électrode qui forme couvercle. Le creuset lui-même forme cathode. Le niveau de l'électrolyte s'établit dans le vase et, sous l'influence du passage du courant, il se produit de petits globules de magnésium et un dégagement de chlore que l'on recueille sur un lait de chaux.

La formation en globules du métal provient de la faible différence existant entre la densité de l'électrolyte et celle du magnésium. Pour recueillir toutes ces particules tenues en suspension dans le bain, on est obligé d'arrêter l'opération, ce qui constitue un grave inconvénient.

Quant au calcium, de même que pour le strontium et le baryum, Matthiessin a traité les chlorures fondus par le procédé Bunsen modifié. Toutefois, le pôle négatif est encore une tige de fer et les quantités de métal obtenues sont très faibles.

Pour l'aluminium, **Henry Sainte-Claire-Deville** (1856-1858), en même temps qu'il applique à l'extraction les méthodes chimiques qui ont été reprises dans ces derniers temps, en Angleterre par Castner, d'une part, Netto, de l'autre, s'occupe des méthodes électrolytiques, mais ne pousse pas loin ces recherches, sans doute parce que les sources d'électricité, en tant que quantité, lui faisaient défaut.

Il étudie trois points :

1° Électrolyse du *chlorure anhydre d'aluminium* Al^2Cl^3 combiné avec du chlorure de sodium 3NaCl ; et ce sel double mélangé avec un excès de ce dernier sel.

M. Minet démontre que ce bain ne saurait fournir (communication de l'Académie, 9 juin 1890) une marche régulière de l'électrolyse. Nous verrons pourquoi lorsque nous parlerons de ses travaux.

2° Il essaye d'électrolyser l'*alumine* Al^2O^3, mélangée à du fluorure de sodium Na Fl et du fluorure de potassium KFl.

Ce savant constate que l'alumine ne se dissout pas dans un mélange de ces deux fluorures alcalisés; que lorsque le courant passe, le sel de potassium ou celui qui se porte au pôle négatif ne réduit même pas l'alumine en suspension.

Ce fait est important à noter; nous verrons que depuis Henry Sainte-Claire-Deville, d'autres savants et industriels ont essayé de faire dissoudre de l'alumine dans les fluorures et d'électrolyser ensuite cette solution ou ce mélange, pour dire mieux. Ils n'ont pas réussi tout d'abord, ils ont depuis 1888 (Hall en Amérique) et 1889 (Héroult et Kiliani) à Neuhausen et à Froges, repris leur méthode en ajoutant pour leur bain, en même temps que l'*alumine*, *du fluorure d'aluminium;* or, nous démontrerons que dans ce cas, lorsque la température n'excède pas 1,000 à 1,100 degrés et les volts 5, c'est le fluorure d'aluminium qui est décomposé, le fluor qui se dégage attaque au pôle positif l'alumine et le bain est régénéré en partie; mais il faut avoir la précaution de n'ajouter à la fois que de faibles quantités d'alumine, si l'on veut que le bain ne devienne pas plus dense que l'aluminium. Du reste, cela est la théorie même de M. Minet, et nous aurons à y revenir.

Dès maintenant nous pouvons dire que nous la croyons juste; quoi qu'il en soit, c'est en se basant sur ce principe que M. Minet a obtenu de bons résultats.

3° Henry Sainte-Claire-Deville annonce que la cryolithe ou fluorure double d'aluminium et de sodium ($Al^2Fl^3 + NaFl$) peut s'électrolyser par la pile à l'état fondu, mais il ne l'essaie pas.

Lontin 1883. — Essaie d'électrolyser de l'alumine dissoute ou mélangée, le fond de son bain étant un mélange de chlorures et fluorures en fusion.

— 1886. — Essaie d'électrolyser le *chlorure de sodium*, l'anode étant constituée d'un charbon aggloméré avec l'alumine; ce savant assure que les vapeurs de chlore attaqueront l'alumine dans le charbon et que le chlorure d'aluminium à l'état naissant s'électrolysera au sein de la masse. La mort le surprend dans ces recherches qui restent sans résultat. MM. Ber-

nard frères, qui en avaient supporté les frais, font appel à M. Minet quelques mois après, en mars 1887.

Kleiner. — Essaie de réduire par l'arc la cryolithe, haute force électromotrice et grande perte de fluorure.

Lossier. — Forme un bain à base de fluorure qu'il régénère avec du *spath fluor* Ca Fl et du silicate d'alumine ($3SiO^2$) Al^2O^3. Nous ne connaissons pas de résultats précis; toutefois, nous pouvons dire que ces méthodes présentent des défauts graves.

Cowles 1885. — Formation des alliages d'aluminium en attaquant l'alumine, en même temps par un métal (cuivre ou fer) et par le courant électrique; appliqué en Amérique; impossibilité de réaliser aluminium pur.

Hall 1886. — Électrolyse de l'alumine dissoute ou mélangée avec du fluorure d'aluminium (idée de Lontin 1883); ne réussit pas d'abord.

Hall 1888. — Réussit en ajoutant du fluorure d'aluminium en même temps que l'alumine dans l'alimentation du bain.

Héroult 1886. — Électrolyse de l'alumine dissoute ou mélangée (idée Lontin 1883); ne réussit pas.

— 1887. — Perfectionne la méthode de Cowles et l'applique pour la formation des alliages vers le milieu 1888 à Neuhausen (Suisse) et à Froges (France).

— 1889. — En collaboration avec Kiliani, reprend son idée de 1886 (Lontin 1883) et réussit en ajoutant du fluorure d'aluminium double ou cryolithe, en même temps que l'alumine d'alimentation.

Minet 1887. — Électrolyse, dès le 11 mars 1887, *fluorure d'aluminium* avec alimentation par l'oxyfluorure de ce métal (Al^2Fl^3, $3Al^2O^3$).

Tels sont à peu près les procédés électrolytiques ayant reçu la consécration industrielle qui ont été employés jusqu'à présent. Les résultats obtenus font prévoir un avenir très brillant à ces méthodes qui sont nées d'hier, et rendent déjà de grands services à la métallurgie.

PROCÉDÉS EMPLOYÉS DANS LA FABRICATION DE L'ALUMINIUM

Nous nous proposons, dans cette partie de notre étude, d'examiner les différentes méthodes (chimiques, thermo-électriques et électrolytiques) employées pour la production industrielle de

l'aluminium, les propriétés physiques de ce métal, et surtout de traiter au moyen d'un exemple la théorie du phénomène d'électrolyse par fusion ignée, ainsi que la vérification des lois de l'électrolyse en général.

Indépendamment de la partie très courte, relative à l'histoire de l'aluminium, nous décomposerons notre étude sur les procédés d'extraction en trois classes :

1° Méthodes chimiques (Henry Sainte-Claire-Deville, Castner, Netto, Grobau, Webster, Frismuth, etc.) ;

2° Méthodes thermo-électriques (Cowles, Brin, Héroult, Bessemer, Stefanite, etc.);

3° Méthodes électrolytiques (Hall, Héroult, Minet, Hampe, Kiliani, Kleiner, etc).

Comme dans les procédés chimiques, la fabrication du sodium se lie d'une façon intime à la production de l'aluminium, nous examinerons rapidement les principales méthodes appliquées (Thowles, Forster, Netto, Grabau).

HISTOIRE

La préparation scientifique de l'aluminium, due à Wöhler, date de 1845, et la préparation industrielle de 1854, après les travaux de Sainte-Claire-Deville.

Weldon, qui a donné à ce métal le nom de *fer de l'avenir*, a fait paraître, en 1883, dans le *Journal of Chemical Industry* une étude très remarquable sur les procédés employés dans la fabrication de l'aluminium.

Jusqu'à cette époque, la méthode Deville était exclusivement appliquée, à part quelques essais tentés en vue de réduire les sels d'aluminium autrement que par le sodium, qui est le réactif ordinaire des procédés chimiques.

En (1883-84), Lontin tente de rompre brusquement avec les méthodes chimiques et il essaie l'électrolyse des sels doubles d'aluminium et de sodium en se servant des indications données par Deville dans son ouvrage sur l'aluminium (1856).

Puis immédiatement après, et dans la même voie, viennent Cowles, Hall, Héroult, Kleiner, Minet, etc., qui ont introduit des modifications plus ou moins heureuses dans les procédés de Lontin.

Nous aurons à apprécier à leur valeur dans la suite ces différents procédés de fabrication, qui font l'objet de notre étude.

Méthodes chimiques.

Les procédés chimiques de fabrication de l'aluminium sont généralement fondés sur la réduction des sels d'aluminium par le sodium.

C'est, comme nous l'avons déjà dit, à Henry Sainte-Claire Deville que l'on doit la préparation industrielle de l'aluminium. Avant d'entrer dans les détails du procédé définitif que ce savant a installé à Salindres, il est curieux de voir quels ont été les résultats qu'il a obtenus, lorsqu'en 1855, sur les ordres de l'Empereur, il entreprit la fabrication de ce métal dans l'usine des produits chimiques de Javel.

Nous trouvons, sur les premiers essais de fabrication, d'intéressants documents dans les *Annales de physique et de chimie* (3e série, t. XLIII à XLVI).

Deville estime tout d'abord ainsi la dépense théorique pour obtenir 2 équivalents d'aluminium, soit 28 *kg*.

3 équivalents	de chlore 108 *kg*, à 60 *f*	les 100 *kg*	=	64,80 *f*
1 —	d'alumine 52 *kg*, à 30 *f*	—	=	15,60
3 —	carbon. de soude 159 *kg*, à 40 *f*	—	=	63,60
	2 équivalents d'aluminium 28 *kg*		=	144,00 *f*

ce qui porte à 4,15 *f* le prix des matières rigoureusement nécessaires à la production de 1 *kg* d'aluminium.

Le procédé consistait donc en ceci :

1° Production du chlorure d'aluminium;

2° Fabrication du sodium;

3° Réduction du chlorure d'alumine par le sodium.

La première préoccupation de Deville fut la production économique du sodium; nous verrons comment il réussit à surmonter les nombreuses difficultés dont était semée cette question.

Pour préparer le chlorure d'aluminium, Deville se servit du procédé expérimenté pour la première fois par Œrstedt, et perfectionné par Thenard et Gay-Lussac de la façon dont il est indiqué dans les recherches « physico-chimiques » de ces deux savants.

Il prit environ 5 *kg* d'alumine, provenant d'un alun ammoniacal calciné fortement et bien exempt de fer; il le mélangea avec 40 0/0 de son poids de charbon et un peu d'huile pour en faire une pâte qui a été découpée en morceaux et introduite dans une cornue C *(fig. 8)* en grès, vernie et tubulée de la capacité de 10 *l.*

La cornue placée dans un fourneau convenablement construit a été portée au rouge pendant qu'on la faisait traverser par un courant de chlore sec, partant d'une ou deux bonbonnes et arrivant par la tubulure A.

Dans les premiers moments, il s'échappe par le col D des quantités considérables d'eau provenant du charbon alumineux, qui est très hydrométrique. Lorsque le chlorure d'aluminium arrive, on ajuste à la suite du col D un entonnoir en grès ou en porcelaine E, qu'on maintient adhérent au moyen d'un peu d'amiante d'abord, puis d'un lut formé de bouse de vache et de terre à poêle. A la suite de l'entonnoir vient une cloche à douille F qu'on unit de la même manière à l'entonnoir E. Le chlorure se condense dans cet appareil et y reste tout entier, quelle que soit la rapidité avec laquelle on fasse marcher le chlore ; celui-ci sera pendant les trois premiers quarts de l'opération si bien absorbé par le charbon alumineux, que le gaz oxyde de carbone qui s'échappe ne décolorera pas le tournesol et s'enflammera avec facilité. Cependant ce gaz fume toujours un peu, à cause d'une petite quantité de chlorure de silicium provenant de l'attaque des parois de la cornue par le chlore et le charbon, ou de l'alumine elle-même et peut-être d'un peu d'acide chlorocarbonique. Mais si l'opération marche bien, la fumée et l'odeur sont à peine sensibles. Quand la cloche F se remplit, on l'enlève pour extraire le chlorure d'aluminium cohérant et cristallisé qu'elle contient, et on la remplace de suite par une autre. La quantité totale de ce chlorure, qu'il a retirée en trois fois, a été de 10,150 *kg*, sans compter la substance perdue pendant la manipulation. Dans la cornue C il restait 1 *kg* à peu près de charbon mêlé à de l'alumine dans la proportion de 2 parties de charbon pour 1 d'alumine ; ce qui fait en tout 330 *gm* d'alumine non attaquée sur 5 *kg*. Le charbon contenait une grande quantité de chlorures alcalins, de chlorure double d'aluminium et de potassium, et de chlorure de calcium qui le rendait déliquescent. On voit que, dans une opération de ce genre, toute l'alumine et tout le chlore sont à très peu près utilisés. Le résidu a été lavé, mélangé avec une nouvelle quantité d'alumine et employé à un nouveau traitement.

Une autre opération du même genre lui a donné près de 11 *kg* de chlorure d'aluminium. Pour répéter cette expérience sur une grande échelle, Deville a remplacé le mélange d'huile, de charbon et d'alumine par un mélange d'alumine et de goudron, la cornue

tubulée par une cornue à gaz, et le récipient en verre par une petite chambre en briques, recouverte en faïence vernissée.

L'alumine que Deville a employée provenait de l'alun ammoniacal à l'épreuve du prussiate, coûtant 19,50 *f* les 100 *kg* et rendant 11 0/0 d'alumine. La calcination de l'alun s'effectuait dans le four à réverbère, contenant en même temps les cylindres à sodium. On mettait l'alun dans les grands pots cylindriques où l'on cuit les os pour en faire du noir animal. L'alun, une fois calciné au rouge vif, était pulvérisé et mélangé avec du goudron de houille, auquel on ajoutait un peu de charbon de bois pulvérisé ; mais cette addition est inutile quand on fait le mélange de goudron et d'alumine un peu liquide; ce qui est plus commode. La pâte bien battue est introduite dans les pots à noir animal, couverte avec soin et mise au four à réverbère. Après la cessation des fumées du goudron, qui portent très vite la température de la voûte à un point très élevé, on enlève les pots et, autant que possible, on emploie le charbon alumineux qu'on y trouve pendant qu'il est encore chaud. Ce charbon est dur, luisant, analogue à une pierre ponce, tant il est poreux et crevassé (1); il contient du soufre, de l'acide sulfurique, un peu de fer, de l'acide phosphorique en petite quantité, une proportion assez considérable de chaux provenant de l'alun dans lequel il existe sans doute à l'état de sulfate de chaux ; enfin de la potasse, qui entre toujours dans la composition du kaolin, et même des argiles avec lesquelles on fabrique l'alun. Cependant, l'alun qu'il a employé était pur; mais les matières étrangères se concentrant dans l'alumine, qui ne représente que les 11/100es du poids de l'alun qu'on calcine, sont en proportions très notables dans le résidu.

Le courant de chlore était fourni par une batterie de huit bonbonnes, contenant chacune 45 *l* d'acide muriatique; on en chargeait quatre toutes les vingt-quatre heures, pendant que les quatre autres se refroidissaient. En réalité, le chlore ne venait jamais que de quatre bonbonnes à la fois. Le gaz se rendait, au moyen de tuyaux de plomb refroidis par un courant d'eau dans une bouteille de plomb contenant de l'acide sulfurique, et traversait une

(1) Le charbon alumineux conduit l'électricité à merveille, et, quand on veut faire de l'aluminium par la pile, c'est le meilleur électrode qu'on puisse choisir, car il absorbe le chlore qui se rend au pôle positif et refait du chlorure d'aluminium qui revivifie le bain au fur et à mesure que l'aluminium se produit au pôle négatif. Il est de la plus grande importance que le charbon alumineux ne contienne ni soufre, ce qui exige une calcination forte et prolongée de l'alumine; ni fer, ce qui nécessite l'emploi d'un alun ammoniacal très pur.

bonbonne de chlorure de calcium avant de se rendre à la cornue à gaz.

Cette cornue à gaz, de 300 *l* environ, avait été coupée à sa partie béante, de manière à diminuer sa hauteur d'au moins 30 à 40 *cm*. Elle était placée verticalement dans une sorte de cheminée C *(fig. 9)*, où pénétrait la flamme produite dans un foyer F, renversée par l'outil P et circulant autour de la cornue au moyen d'un colimaçon K. A sa partie inférieure, la cornue était percée d'une ouverture carrée X de 0,2 *m* de côté, que l'on pouvait fermer par une brique maintenue au contact des bords de l'ouverture par une vis de pression V. Un tube de porcelaine, traversant les parois du fourneau et venant percer la cornue en O, portait le chlore jusqu'au centre de la couche de charbon alumineux. Ce tube de porcelaine était garanti contre l'action de la flamme par un creuset de terre percé à son fond et qu'il traversait. De plus, on avait empli ce creuset d'un mélange de terre et de sable. Le tube était luté à la cornue et au fourneau avec un mélange de terre à poêle et de bouse de vache. A sa partie supérieure, la cornue était fermée par une plaque Z en brique réfractaire, au centre de laquelle on avait fait une ouverture carrée W de 10 à 12 *cm* de côté; c'est par là qu'on versait le mélange de charbon et d'alumine au fur et à mesure qu'il disparaissait. Enfin, une ouverture Y, placée à 30 *cm* au-dessous de la plaque Z, donnait issue aux vapeurs qu'un creuset de terre, à fond coupé et luté contre cette ouverture, conduisait dans la chambre de condensation L.

La chambre L était un parallélipipède rectangle, dont la base avait environ 1 m^2 et dont la hauteur était de 1,20 *m*. Elle avait une paroi en briques commune avec ce four : ce qui contribuait à la maintenir à une température assez élevée. Toutes les autres parois doivent être très peu épaisses, en briques et à peine garnies de mortier, et la base doit reposer sur une voûte bien évidée. Le toit M est mobile et formé par une ou plusieurs plaques, qu'on use les unes contre les autres pour éviter les fuites; on les assujettit avec du lut gras à l'argile. Une ouverture de 0,2 à 0,3 m^2, placée à la partie inférieure de la chambre, la met en communication avec des tuyaux mobiles en bois, garnis de plomb intérieurement, dans lesquels on trouve une certaine quantité de chlorure d'aluminium entraîné, et qui s'ouvrent au moyen d'une ouverture étroite, dans une cheminée à bon tirage. Il faut ménager dans ces tuyaux un registre qui permet d'interrompre plus ou

moins complètement la communication de la cheminée d'appel avec l'appareil à chlorure d'aluminium.

Avant de faire fonctionner cet appareil, il faut avant tout en sécher avec le plus grand soin les diverses parties, surtout la chambre de condensation, dans laquelle on introduit des fourneaux pleins de charbons secs et bien enflammés jusqu'à ce que les parois cessent d'exhaler de l'humidité à l'extérieur et soient fortement échauffées à l'intérieur. On monte lentement la chaleur de la cornue en mettant dans le foyer des escarbilles et en n'ajoutant de la houille que peu à peu. La cornue est laissée ouverte en Z jusqu'à ce qu'on juge qu'elle est bien sèche, et on l'emplit de mélange de charbon et d'alumine ou charbon alumineux, récemment calciné et presque rouge. On pose alors la plaque Z et l'on pousse le feu jusqu'à ce que la cornue soit partout au rouge sombre bien caractérisé. On fait enfin arriver le chlore, mais on ne bouche l'ouverture W et on ne laisse les gaz pénétrer dans la chambre de condensation que lorsque les fumées de chlorure d'aluminium paraissent très abondantes à l'ouverture Z.

Lorsque l'opération marche bien, on trouve presque tout le chlorure d'aluminium attaché en une masse solide et bien dense contre la plaque. M. Deville en a retiré une fois une plaque pesant près de 50 *kg*, qui avait au moins 0,1 *m* d'épaisseur; elle se composait d'une multitude de gros cristaux jaune-soufre, emboités les uns dans les autres et stimulant des stalactites bien rapprochées et soudées dans la plus grande partie de leur hauteur.

Lorsque l'on jugeait le mélange épuisé sur une hauteur de 0,30 *m* de la cornue, ou débouchait l'ouverture X, on faisait tomber le charbon dépouillé d'alumine et on en remettait par l'ouverture Z. Le tassement s'effectuait tout seul, sans mouvements brusques. Les parois de la cornue s'attaqueraient très vite si on négligeait de renouveler souvent le mélange autour du tube de porcelaine qui amène le chlore. Il faut également garnir les parois de la cornue à l'extérieur d'un rang de briques réfractaires aux points où elle reçoit l'action directe de la flamme du foyer.

Les diverses parties de cet appareil avaient été très mal calculées dans l'atelier de Javel; car, en partant de l'expérience que Deville a décrite au commencement de cet article, on voit que pour une cornue à gaz contenant, comme la sienne, 200 *kg* de mélange, il aurait fallu une batterie de trente bonbonnes au moins (1), fonc-

(1) Les pertes en chlorure d'aluminium dues à la porosité de la cornue, les pertes en chlore dues à l'attaque des parois avec formation de chlorure de silicium sont, surtout

tionnant toutes à la fois, pour donner 250 *kg* de chlorure d'aluminium environ, qui exigent pour leur formation à peu près 70 m^3 de chlore. Il est évident qu'alors la chambre de condensation aurait été insuffisante dans ses dimensions. Pour des essais qui exigeraient une quantité de chlorure d'aluminium beaucoup moindre, il est clair que la cornue à gaz serait un appareil trop considérable ; car il est important de ne pas préparer plus de chlorure d'aluminium qu'on en peut consommer en un ou deux jours. Ce produit se conserve mal, et on a toujours obtenu un grand bénéfice en l'employant à la fabrication de l'aluminium au moment où il sortait de la chambre de condensation. Quand la fabrication du chlorure d'aluminium marche bien, il ne doit s'exhaler de la chambre aucune vapeur blanche ; l'odeur du gaz oxyde de carbone est toujours très piquante à cause de la formation du chlorure de silicium qu'on ne peut éviter, et peut-être d'un peu d'acide chlorocarbonique, lorsque la chaleur est insuffisante. On estime qu'une cornue à gaz convenablement conduite pourrait servir au moins deux mois, comme la sienne, ou trois mois au plus ; il faudrait construire la partie verticale du fourneau de manière à permettre de remplacer facilement ces appareils sans grands frais ; on ménage aussi sur le parcours de la flamme un grand nombre d'ouvertures, fermées avec des briques que l'on déplace momentanément pour visiter la cornue ; toute fuite est signalée par une coloration bleue de la flamme qui caractérise la présence du chlorure d'aluminium. On pourrait boucher les fissures, si elles étaient peu considérables, avec un mélange de silicate de soude et d'amiante.

EXTRACTION DE L'ALUMINIUM.

(Procédé de Javel.)

L'aluminium fabriqué à Javel provenait d'appareils très défectueux, qui n'étaient que la reproduction, sur une grande échelle, des procédés de laboratoire fondés sur la méthode mémorable de M. Wohler. Deville en donna cependant la description, parce que, utilisés avec intelligence, ils ont encore fourni, dans l'usine de MM. Rousseau frères, des résultats assez avantageux.

Le chlorure d'aluminium brut, introduit dans un cylindre A *(fig. 10)* et chauffé dans un petit foyer F, distille facilement et passe

dans un appareil où il n'y a pas de pression, proportionnelles au temps et non à la masse du chlore. Il faudrait rechercher quelle est la vitesse maximum qu'on pourrait donner au chlore sans qu'il s'en perdît par la cheminée et fixer d'après cette expérience le nombre des bonbonnes de la batterie ou les dimensions de la cornue. C'est là un point capital.

au moyen du tube Y, dans un cylindre B contenant 60 à 80 *kg* de pointes de fer et chauffé au rouge sombre par un petit foyer G. Sur le fer restent : le perchlorure de fer, aussi volatil que le chlorure d'aluminium, mais qui se transforme en protochlorure de fer fixe relativement, l'acide chlorhydrique provenant de l'action de l'humidité atmosphérique sur le chlorure d'aluminium ; enfin le chlorure de soufre qui reste à l'état de protochlorure et sulfure de fer. Le cylindre B est suivi d'un tube très large C, où s'arrêtent les lamelles minces de protochlorure de fer, qu'entraînent les vapeurs. Enfin, celles-ci arrivent dans un cylindre D de fonte, dans lequel sont placées trois nacelles N, également en fonte, et recevant chacune 500 *g* de sodium. Le tube C est maintenu à une température de 200° à 300°, suffisante pour empêcher la condensation du chlorure d'aluminium, à laquelle cependant le protochlorure de fer n'a pas de tension sensible. Quant au tube D, on l'échauffe de manière qu'il soit à peine rouge sombre dans sa partie inférieure, la réaction qui va se produire entre le sodium et le chlorure d'aluminium étant assez vive pour que souvent on soit obligé d'enlever tout combustible. — Lorsque le chlorure d'aluminium arrive au contact du sodium, il se forme du sel marin et de l'aluminium. Bientôt le sel marin se combine avec l'excès de chlorure et l'on obtient un chlorure double, assez volatil pour aller se condenser sur le sodium de la nacelle voisine, où il se décompose de nouveau pour reconstituer de l'aluminium et du sel marin aux dépens du sodium. On s'aperçoit aisément que la réaction, qui ne commence dans une nacelle qu'après avoir été épuisée dans celle qui la précède, est terminée dans tout le cylindre, lorsque, en ouvrant le couvercle W, on voit le sodium de la dernière nacelle entièrement transformé en une matière mamelonnée noire et baignant dans un liquide incolore, qui est le chlorure doublé d'aluminium et de sodium. On enlève alors les nacelles, que l'on remplace immédiatement par d'autres, et on les laisse refroidir en les couvrant d'une nacelle vide.

On retire le contenu de chaque nacelle, qu'on introduit dans des pots de fonte ou dans des creusets de terre chauffés dans le réverbère du four à sodium, jusqu'à ce que la fusion de la matière soit complète et que le chlorure double commence à se volatiliser. La plupart du temps, la réaction entre le chlorure d'aluminium et le sodium ne s'achève pas dans le cylindre, le sodium étant protégé, à une certaine épaisseur, par le sel marin formé à ses dépens. Mais le chlorure double d'aluminium et de sodium,

qu'on trouve à la partie supérieure des nacelles, suffit toujours pour que le sodium soit entièrement absorbé dans les pots ou creusets, et que l'aluminium reste, en définitive, au contact d'un grand excès de son chlorure ; ce qui est indispensable pour le succès de la fabrication.

Lorsque les pots ou creusets sont froids, on extrait de leur partie supérieure une couche de sel marin à peu près pur, qu'on met de côté, et à la partie inférieure, des globules de métal plus ou moins pur, qu'on sépare par un lavage à l'eau ; mais malheureusement cette eau, dissolvant le chlorure d'aluminium du fondant, exerce sur le métal une action destructive très rapide, et l'on ne sauve de cette opération que les globules plus gros que la tête d'une épingle. On les réunit, on les sèche, on les met dans un creuset de terre que l'on chauffe au rouge, et on les écrase, lorsqu'ils commencent à fondre, avec une baguette de terre. Tout alors se réunit en un seul culot, que l'on coule dans une lingotière.

Il faut avoir un soin extrême d'enlever du sodium tous les morceaux de charbon sodique dont il est accompagné lorsque sa préparation a été mal conduite et sa purification incomplète, sans quoi il se forme des quantités considérables de cyanates ou de cyanures métalliques qui, au contact de l'eau, dégagent de l'ammoniaque abondamment et détruisent encore de l'aluminium. Il faudrait bien se garder aussi de vouloir fondre ou réunir de l'aluminium contenant un excès de sodium ; il prendrait feu partiellement et la combustion ne cesserait que lorsque tout le sodium serait complètement brûlé. Il vaudrait mieux le refondre en présence d'un peu de chlorure double d'aluminium et de sodium.

Tel est le détestable procédé au moyen duquel ont été fabriqués les lingots d'aluminium qui ont été mis à l'Exposition de 1855.

RÉDUCTEURS DE L'ALUMINIUM

Nous venons de voir, dans la description du procédé Deville, que le réducteur employé pour extraire l'aluminium du chlorure double d'aluminium et de sodium était le sodium. C'est encore ce sel que l'on emploie le plus généralement dans les procédés chimiques et nous consacrerons, comme nous l'avons déjà dit, un chapitre spécial à sa préparation économique ; cependant on a essayé d'autres réactifs, que nous ne ferons que signaler à cause du peu d'importance qu'ils ont pris dans les applications industrielles :

Knowles et Corbelli . . .	ont essayé	*le cyanogène ;*
Gerhard et Fleury. . . .	—	*l'hydrogène carburé ;*
Morris et Chapelle. . . .	—	*le charbon ;*
Morris	—	*l'acide carbonique ;*
Lantherborn et Nieverth .	—	*le fer ;*
Calvert et Jonhson Benson	—	*le cuivre ;*
Dulls, Basset et Seymour.	—	*le zinc ;*
Wilde.	—	*le plomb ;*
Weldon.	—	*le manganèse.*

Nous nous occuperons dans la suite des procédés ayant reçu la consécration de la pratique, tels que ceux de Cowles, Thomson, etc. employant le fer, le cuivre et le charbon.

Procédé de **Salindres.** — Le procédé suivi à Salindres comporte quatre opérations essentielles :

1° Préparation de l'aluminate de soude ;
2° Préparation de l'alumine ;
3° Préparation du chlorure double d'aluminium et de sodium ;
4° Extraction de l'aluminium du chlorure.

Nous allons décrire rapidement ces différentes phases du procédé :

1° *Préparation de l'aluminate de soude.* — On prépare l'aluminate de soude en calcinant le bauxite (aluminate de fer) avec du carbonate de soude ; il se forme de l'aluminate de soude soluble, de l'oxyde de fer insoluble, et de l'acide carbonique. On prend généralement, pour opérer le mélange, une partie de bauxite pour deux de carbonate de soude pulvérisé. L'opération a lieu à une assez haute température et ne se termine qu'après la décomposition complète du carbonate de soude, laquelle se reconnaît facilement en prenant une certaine quantité de matière, et, la traitant par un acide, il n'y a plus effervescence d'acide carbonique.

On sépare l'aluminate de soude de l'oxyde de fer par un lavage méthodique commandé par la grande solubilité de l'aluminate. On opère de la façon suivante : on traite d'abord l'aluminate par une faible dissolution provenant de l'épuisement de la charge précédente et qui donne aussitôt une solution riche, puis par de l'eau pure, qui sert à l'épuiser et sert à former la dissolution forte de la charge suivante.

On doit autant que possible s'abstenir de traiter des bauxites

contenant des quantités notables de silice, car on formerait en pure perte, avec la soude et l'alumine, des silico-aluminates de soude peu solubles.

2° *Préparation de l'alumine.* — On prépare l'alumine en décomposant l'aluminate de soude par l'acide carbonique; il se forme du carbonate de soude soluble, que l'on sépare de l'alumine par un lavage. La précipitation s'opère en faisant passer l'acide carbonique, dégagé par la réaction de l'acide chlorhydrique sur la craie, à travers des dissolutions d'aluminate de soude de plus en plus riches. La réaction ne prend fin qu'au bout de six heures, et ne doit pas atteindre une température supérieure à 70°, sous peine de n'obtenir qu'un précipité d'alumine gélatineux difficile à séparer du carbonate de soude.

La dissolution de carbonate de soude est filtrée et ensuite évaporée, de façon à la séparer de l'alumine et à utiliser presque indéfiniment le même carbonate. L'alumine est placée dans des essoreuses qui, par l'action de la force centrifuge, enlèvent ce qu'elle contiendrait encore de carbonate de soude après la filtration. L'alumine ainsi traitée ne contient plus guère que 2 à 3 0/0 de carbonate de soude.

3° *Préparation du chlorure double d'aluminium et de sodium.* — On obtient ce chlorure d'aluminium et de sodium, en chauffant un mélange d'alumine, de sel marin et de charbon de bois, aggloméré en boulettes séchées avec le plus grand soin, puis portées au rouge vif dans une cornue verticale dans le bas de laquelle on introduit un courant de chlore comme dans le procédé Deville de Javel. Le chlorure double se sublime par le haut de la cornue dans des récipients en terre.

Ce chlorure double présente sur le chlorure simple l'avantage d'être plus stable, et d'un maniement plus facile; ainsi obtenu, il ne contient que des traces de fer, et l'opération peut être menée à bonne fin en douze heures environ.

4° *Extraction de l'aluminium.* — L'aluminium s'extrait du chlorure double d'aluminium et de sodium, en le traitant, dans un four à réverbère, par le sodium; il se forme du chlorure de sodium et de l'aluminium, parce que le sodium a pour le chlorure plus d'affinité que l'aluminium; mais, comme la réaction pure et simple de ces deux substances ne fournirait que des grains d'aluminium, il faut leur ajouter un *fondant* qui agglutine ce métal et

permet d'en obtenir des lingots. On emploie généralement la cryolithe (fluorure double d'aluminium et de sodium) que l'on mélange intimement avec le chlorure double, et qui forme avec le chlorure de sodium une scorie très fusible au-dessous de laquelle s'assemble l'aluminium.

La réaction dans le four est d'abord très vive, mais elle se termine plus lentement au bout de deux ou trois heures. On décante, une fois l'opération terminée, d'abord la scorie, puis l'aluminium que l'on coule dans des moules en fonte, et enfin la scorie grise qui se trouve au-dessous de l'aluminium.

On traite d'un coup une charge de 100 *kg* de chlorure double, 45 *kg* de cryolithe et de 35 *kg* de sodium qui fournissent environ 10,500 *kg* d'aluminium. Le prix de revient est d'environ 80 *f* le kilogramme décomposable comme il suit :

Sodium, 3,44 *kg* à 11,32 *f*. . . .	le kilogr.	38.90
Chlorure double, 10,04 *kg* à 2,48 *f*	—	24.90
Cryolithe, 3,87 *kg* à 0,61 *f*. . . .	—	2.36
Charbon, 29,17 *kg* à 0,014. . . .	—	0.41
Salaires.		1.80
Frais divers.		0.88
TOTAL		69.25
Frais généraux, 10 0/0		6.92
		76.17

Soit 80 *f* en chiffres ronds.

Procédé **Frismuth.** — Le principe pour la fabrication de l'aluminium, proposé par M. le colonel Frismuth, est à peu près celui-ci. On met en présence dans un récipient des vapeurs de sodium et de chlorure double d'aluminium volatilisés dans des cornues séparées. Les deux vapeurs agissent l'une sur l'autre et sont produites de la façon suivante : on volatilise le chlorure double en présence de sel marin dans un courant de chlore ; quant à la vapeur de sodium, on l'obtient en chauffant au rouge du carbonate de soude en présence de charbon. Ce procédé est employé aux États-Unis depuis 1885.

Procédé **Webster.** — Cette méthode employée à Holyhead, près Birmingham, par l' « Aluminium Crown Métal C° », consiste à former le chlorure d'aluminium en partant de l'alun de façon à éviter les deux principales impuretés de l'aluminium, le fer et le silicium que l'on rencontre toujours dans les argiles. On chauffe à

cet effet à 250° environ dans un feu de calcination un mélange de trois parties d'alun pour une de brai ; au bout de trois heures, ce mélange a perdu 40 0/0 de son poids d'eau. On sèche, on lave le mélange calciné, à l'acide chlorhydrique, jusqu'à ce qu'il ne dégage plus d'hydrogène sulfuré, puis on l'amalgame en le pulvérisant avec du poussier de charbon, de manière à former des boulettes d'une livre environ.

On perfore ces boulettes pour en faciliter le séchage et on les chauffe d'abord lentement de 40 à 50° dans un dissécateur, puis on les soumet pendant trois heures dans une cornue portée au rouge, à l'action d'un courant de deux volumes de vapeur pour un d'air qui enlève le soufre et le carbone sous forme d'acide sulfureux et d'acide carbonique. On pulvérise finement le résidu ; on le met en ébullition pendant une heure au bain-marie dans sept fois son poids d'eau, puis on décante, lave et sèche le tout, et on obtient enfin une masse qui contient environ 84 0/0 d'alumine réduit ensuite par le sodium.

On obtiendrait ainsi, d'après M. Webster, l'alumine pure avec une économie de 90 0/0 des dépenses exigées par l'ancien procédé et l'on utiliserait les sous-produits de sa fabrication en grande partie pour la production d'une couleur bleue, vendue 16 *f* le kilogramme et pouvant remplacer l'indigo dans la teinture des calicots.

Procédé **Netto.** — Le procédé Netto est, théoriquement du moins, un des plus simples. Il se passe de chlorure double d'aluminium et de sodium préparé d'avance.

« Je fonds au rouge, dit-il, dans un creuset d'argile fermé, un mélange de trente parties en poids de sel marin desséché et de cent de cryolithe. Dès que la masse est devenue parfaitement liquide, on introduit 35 0/0 en poids de sodium en morceaux au fond du bain au moyen d'un appareil spécial.

» La décomposition commence aussitôt et se termine très vite. On retire le creuset du feu et on en verse le contenu dans un moule en fonte, afin de solidifier rapidement la masse. Après solidification, on renverse le moule, et l'aluminium concentré en un seul lingot au fond du moule se sépare de sa scorie par quelques coups de marteau. »

Il faut que la masse soit tout à fait fluide quand on y introduit le sodium, et que cette fusion s'opère très rapidement pour ne pas attaquer le creuset, ce qui amènerait de la silice dans l'aluminium.

Cependant il ne faut pas opérer à une température trop élevée, car on volatiliserait une partie des réactifs.

Il faut aussi que le sodium que l'on emploie soit parfaitement sec et homogène, sans aucune cavité ni porosité retenant le pétrole dans lequel on le conserve, sous peine d'avoir des explosions. Il vaut mieux le refondre avant de l'employer.

Pour introduire rapidement le sodium dans le bain liquide, on se sert d'un appareil représenté par les figures 11$^{a\,b}$. Le morceau de sodium *g*, coiffé d'une calotte *a* percée de trous *i* et surmontée d'une tringle *t*, est piqué au bout d'une tige en fer *s*. On introduit l'ensemble de ces deux appareils dans la masse liquide, puis on retire la tige *s*.

La calotte *a* empêche le sodium de flotter à la surface du bain, et les trous *i* permettent au sodium fondu de se disséminer dans toute la masse de la matière en fusion. La réaction est très vive, dégage une grande chaleur et se termine en quelques minutes.

On peut aussi introduire le sodium au moyen d'un appareil fermé *(fig. 11^{b})* ayant assez la forme d'une bassinoire *a* percée de trous *i* et emprisonnée dans un moule *h*. On coule le sodium à l'intérieur de *a* à l'aide de l'orifice *e*, puis une fois la matière solidifiée, on retire *a* du moule *h* pour l'introduire dans le bain de cryolithe.

En un mot, le principe du procédé Netto est la réaction rapide du sodium sur un bain de cryolithe fondue.

Beaucoup de perfectionnements ont été apportés dans les appareils dans ces derniers temps.

La figure 11^{c} représente un type de creuset perfectionné dont le couvercle, solidement maintenu par les pinces *d*, porte, attaché par les pointes *c*, une galette de sodium *b*. Une fois ce creuset fermé sur la masse de cryolithe et de sel marin en fusion, on le retourne plusieurs fois au moyen des pinces, de manière que le sodium, plus léger que le bain fondu, le traverse en tous sens, s'y mélange vivement et produise la réaction réductrice.

Lorsqu'on veut produire l'aluminium d'une façon continue, on emploie un convertisseur analogue à celui de la figure 11^{d}. Ce convertisseur A est chauffé par une flamme que développe dans le tuyau *c* un mélange d'air amené par le tuyau *g* et de gaz combustible venant d'un gazogène au tuyau *f*. Une fois le bain fondu par cette flamme, on introduit en *a* le sodium liquide ou solide, puis on ferme l'arrivée du gaz en *f* et l'on fait basculer le convertisseur

autour de son axe *a'*. La réaction terminée, on évacue par l'orifice *j* l'aluminium et la scorie.

On peut aussi employer un convertisseur dans le genre de celui que M. Heaton a adopté pour la fabrication de l'acier au nitrate *(fig. 11ᵉ)*.

Une pompe G aspire en H du sodium fondu et le refoule en F dans le convertisseur, en le faisant passer au travers d'une grille en aluminium qui le diffuse dans toute la masse en fusion.

On s'aperçoit que l'opération est terminée lorsque du sodium non décomposé flotte à la partie supérieure de l'appareil. On vide alors le convertisseur en le faisant basculer.

M. Netto a remarqué que les impuretés nuisibles, fer et silicium, que l'on constate dans l'aluminium, sont réduites, presque en totalité, pendant la première phase de l'action du sodium, de sorte qu'il suffirait d'interrompre la réaction, vers la fin de cette première phase, et de retirer l'aluminium impur produit pendant cette période pour séparer du restant de la charge presque toutes les impuretés.

Voici comment M. Netto opère cette réduction fractionnelle :

Il commence par introduire dans le bain fondu d'égales parties de cryolithe et de sel marin, le tiers à peu près du sodium nécessaire pour la réduction totale de son aluminium. La réduction terminée, on verse lentement la masse fondue dans un creuset porté au rouge en ayant soin de ne pas y laisser tomber le culot d'aluminium impur, et l'on traite la masse ainsi purifiée par du sodium en quantité suffisante pour réduire les deux tiers d'aluminium qu'elle renferme.

On obtiendrait ainsi un métal très pur renfermant 99 0/0 d'aluminium.

On voit que tout le succès commercial des procédés Netto, employés à Wallsend-on-Tyne par l'Alliance Aluminium Cᵒ, repose sur le bon marché du sodium. Nous nous occuperons de la production économique de ce métal, par les méthodes de M. Netto, dans un chapitre spécial.

Procédé **Grabau.** — Le procédé suivi par M. Grabau, de Hanovre, est le suivant :

On chauffe dans deux cornues séparées, en fonte D et E *(fig. 12 et 12ᵃ)* du fluorure d'aluminium et du sodium. On chauffe d'abord au rouge sombre le fluorure d'aluminium en D, puis le sodium en E, et on introduit ces réactifs dans le récipient F, refroidi par une

circulation d'eau. Le fluorure en grenailles tombe au-dessus du sodium fondu, admis le premier au fond du convertisseur F et qui reste recouvert par le fluorure pendant toute la durée de la réaction.

Les proportions de sodium et de fluorure d'aluminium sont telles que leur réaction produise le fluorure double ($Al^2Fl^6 + 6NaFl$) qui est très fusible; elles sont données par la formule :

$$2\,(Al^2Fl^6) + 6Na = 2Al + (Al^2Fl^6 + 6NaFl).$$

La cryolithe artificielle produite par cette réaction sert à préparer du nouveau fluorure sans avoir besoin de cryolithe naturelle, toujours légèrement souillée de silice et de fer, de sorte que le procédé est pratiquement continu en partant du spath-fluor.

Le fluorure d'aluminium doit être chauffé à 600° environ, et comme il recouvre à l'état pulvérulent le sodium fondu, la réaction se propage de proche en proche, au lieu de se produire dans toute la masse, et vivement, par la montée du sodium au travers du fluorure en fusion.

Pour produire son fluorure d'aluminium, M. Grabau mélange, comme nous l'avons déjà dit, du spath fluor en poudre (chaux fluatée) à une dissolution de sulfate d'alumine dans 90 0/0 d'eau maintenue à 60°, dans la proportion de trois parties de spath pour une d'alumine. Après plusieurs heures, on obtient un mélange de sulfate de chaux et de fluoro-sulfate de formule $Al^2Fl^4So^4$. On arrête la réaction lorsqu'il s'est transformé environ 55 0/0 de l'acide sulfurique en sulfate de chaux.

On laisse le sulfate de chaux se précipiter lentement en un dépôt retenant environ 3 0/0 d'alumine, des traces de sulfate de soude et de chaux. On évapore le liquide au bain-marie jusqu'à consistance sirupeuse, puis on le mêle à de la cryolithe en poudre, dans une proportion telle que l'acide sulfurique combiné à l'alumine suffise pour former du sulfate de soude avec la totalité du sodium de la cryolithe. On obtient, en séchant ce mélange à 150°, une masse poreuse que l'on brise en menus fragments et que l'on chauffe jusqu'à un commencement de vitrification.

Dans les deux phases successives de cette préparation, le sulfate d'alumine s'est complètement transformé en fluorure d'aluminium : 55 0/0 lors de la première phase et 45 0/0 lors de la seconde, par calcination de la cryolithe.

On sépare le sulfate de soude, par des lavages répétés, mais en perdant par décantation environ 15 0/0 du fluorure d'aluminium.

Ces décantations enlèvent en même temps les impuretés du fluorure, s'il en contient. Ce fluorure est ensuite divisé en noisettes, destinées à la fabrication de l'aluminium par le sodium.

Nous décrirons plus loin le procédé employé par M. Grabau pour la fabrication du sodium destiné à la réduction du fluorure d'aluminium.

Il paraît que l'on obtiendrait, par les méthodes de M. Grabau, un métal excessivement pur, contenant 99,62 0/0 d'aluminium, 0,23 de fer et 0,15 de silicium, résistant parfaitement à l'oxydation sans aucunement se ternir à l'humidité et dont le prix de revient serait d'environ 14 *f* le kilogramme.

Procédé **Castner**. — Le procédé Castner est aujourd'hui pratiqué sur une grande échelle dans l'usine d'Oldbury, près Birmingham, dans laquelle on fabrique séparément :

1° Le sodium, par le procédé Castner;

2° Le chlore, par le procédé Weldon;

3° Le chlorure double d'aluminium et de sodium;

4° L'aluminium, en réduisant le chlorure double par le sodium.

Nous étudierons le procédé de M. Castner pour la fabrication du sodium dans le chapitre spécialement consacré à cet effet, et nous renverrons pour les détails du procédé Weldon pour la fabrication du chlore, à la *Revue scientifique* du 23 juin 1888.

M. Castner prépare le chlorure double d'aluminium et de sodium par la réaction lente du chlore sur un mélange d'alumine et de charbon porté au rouge dans les cornues d'un four à régénérateur auquel le chlorure, renfermé dans des gazomètres combinés de façon à éviter à coup sûr des explosions, est admis au dosage voulu par des distributeurs automatiques.

L'opération dure environ deux jours; le chlore passe continuellement et le chlorure double distille peu à peu dans des condenseurs. L'usine renferme douze fours à cinq cornues, qui peuvent fournir par jour 2 700 *kg* de chlorure double renfermant 12 0/0 d'aluminium et pouvant en céder 10 0/0.

Pour réduire ce chlorure double, on chauffe à environ 1 000°, dans un four à réverbère, un mélange de :

11,350 *kg* de sodium,
36,300 *kg* de chlorure double,
13,500 *kg* de cryolithe,

qui donne, au bout d'une heure et demie, 3,600 *kg* environ d'aluminium.

Les fours à gaz et à réverbère employés à Oldbury sont de deux types, qui ne diffèrent que par la manière dont on retire l'aluminium après la réaction. Dans l'un, on retire l'aluminium sur la sole dans une poche, après avoir enlevé les scories; dans l'autre, on laisse tomber l'aluminium dans un creuset avec la scorie à mesure qu'il se forme.

M. Castner a essayé tout récemment l'appareil suivant pour la purification électrolytique du chlorure double d'aluminium et de sodium.

Cet appareil est représenté par les figures 13 et 13ª. Le chlorure fondu en A s'écoule dans une série d'auges C_1 C_2 C_3 en tôle émaillée, où il circule entre des anodes en charbon E, qui ne plongent pas jusqu'au fond, et les cathodes H, dont une sur deux touche la partie inférieure de la cuve et est percée dans son milieu d'un trou permettant le passage du liquide. Ces cathodes sont en feuilles d'aluminium de 2 à 3 *mm* d'épaisseur. Les auges sont chauffées par le dessous afin de maintenir l'état de fusion du chlorure qui s'écoule purifié en D. L'intensité du courant est de 1 000 ampères, et le circuit est divisé de manière qu'il passe 600 ampères en C_1, 300 en C_2 et 100 en C_3. Ces 1 000 ampères suffisent pour précipiter par heure environ 700 *gr* de fer, c'est-à-dire pour purifier 140 *kg* de chlorure renfermant 0,5 0/0 de fer.

Un robinet B assure l'écoulement de 140 *kg* de chlorure exactement par heure, et il se précipite 420 *gr* de fer en C_1, 210 en C_2 et 70 en C_3. Il est nécessaire que le chlorure s'écoule constamment entre les électrodes et soit soumis à des intensités décroissantes à mesure qu'il se purifie.

L'opération est continue, et il suffit de nettoyer de temps en temps les cathodes, et de remplacer les anodes lorsqu'elles se désagrègent.

Procédé **White et Thomson.** — Les deux inventeurs, pour fabriquer l'aluminium, partent d'un mélange de trois parties de sodium, et quatre parties de cryolithe en poudre, chauffé à 100° au bain-marie, rendu bien homogène par un brassage et refroidi. On y ajoute ensuite quatre parties de chlorure d'aluminium, et on réduit le tout dans un four à réverbère préalablement porté au rouge, qui reçoit la charge en fusion par une trémie étanche à l'air.

Procédé **Reillon, Montagne et Bougerel.** — Ce procédé repose sur une réaction à vérifier : la formation (en chauffant un mélange

de métal, de charbon et de sulfure de carbone), d'un sulfure d'*aluminium* dont on sépare ensuite l'aluminium en le chauffant au rouge blanc dans un hydrocarbure. On forme, en mélangeant quarante parties de charbon en poudre avec cent d'alumine et de goudron, une pâte que l'on calcine au rouge dans un creuset. On soumet cette pâte calcinée et brisée en petits morceaux dans un creuset d'argile à un courant de sulfure de carbure ; il se produit en vertu de la réaction $2\,Al^2\,O^3 + 3\,C + 3\,CS^2 = 2\,Al^3\,S^3 + 6\,Co$ du sulfure d'aluminium et de l'oxyde de carbone qui s'échappe par une ouverture du creuset.

Le sulfure d'aluminium, traité au rouge par un courant d'hydrogène carboné, produit de l'hydrogène sulfuré et de l'aluminium pur.

La fabrication et la réduction du sulfure d'aluminium ont déjà été tentées par de nombreux chimistes sans aucun succès pratique. Nous ne pensons pas que le procédé de MM. Reillon, Montagne et Bougerel ait, dès aujourd'hui, une grande valeur industrielle.

Procédé **Baldwin**, *de Chicago.* — On fond un mélange d'argile (bauxite), de charbon pulvérisé et de sel marin dont on écume un composé d'aluminium et de sodium qui, fondu de nouveau avec du sel marin et coulé dans des moules chauffés de manière à ne pas se refroidir trop vite, laisse l'aluminium s'assembler en masse au fond des moules.

Procédé **Feldman**, *de Linden.* — Ce procédé consiste essentiellement à traiter par la fusion un mélange de fluorure double d'aluminium et de strontium, de sodium et de chlorure de strontium, qui donne naissance à la réaction suivante avec trois éléments de chlorure de strontium en excès :

$$(Al^2\,Fl^6 + 2\,Sr\,Fl^2) + 6\,Sr\,Cl^2 + 6\,Na = 2\,Al + 5\,Sr\,Fl^2 + 3\,Sr\,Cl^2 + Na\,Cl.$$

On lave pour séparer le fluorure de strontium insoluble qui sert indéfiniment aux opérations suivantes.

Procédé **Faurie.** — Avec ce procédé, on emploie pour préparer l'aluminium un mélange de soufre, de charbon et d'aluminium, qui forme au rouge des vapeurs de sulfure de carbone et de sulfure d'aluminium; ce dernier sulfure se décompose au rouge blanc en abandonnant l'aluminium en grenailles. Le mélange de soufre, de charbon et d'alumine est constitué, en réalité, par une

pâte obtenue en brassant, avec 500 *gr* d'acide sulfurique, 1 500 *gr* d'alumine délayée dans un demi-litre de pétrole. Le tout, chauffé au rouge et pulvérisé, est ensuite maintenu au rouge blanc, pendant trois heures, en présence de la moitié environ de son poids de cuivre ou de fer, qui forme avec l'aluminium un alliage grenaillé plus ou moins riche.

Procédé **Stephan et Southerton.** — Dans ce procédé, on traite par des vapeurs d'acide fluorhydrique un mélange d'alun et d'émeri porté au rouge. On fait passer le courant d'acide fluorhydrique au travers de la masse incandescente jusqu'à ce qu'elle devienne pâteuse : la fusion précipite des granules d'aluminium ferrugineux dont on enlève le fer par des lavages à l'acide sulfurique étendu.

Lorsqu'on veut, au contraire, produire un alliage de fer et d'aluminium, on mélange une pâte séchée d'alun, d'ammoniaque et d'émeri avec cent parties d'hématite, et l'on traite le tout dans un haut fourneau.

Une addition du mélange d'émeri et d'alun en proportion de 4 0/0 au bain d'un four à réverbère donne, après le puddlage, un excellent acier d'outils aluminé.

Procédé **Great Western aluminium Smelting and Refining C°.** — Ce procédé consiste à injecter dans un fluorure d'aluminium fondu un réactif, tel que du sulfure ou du nitrate de bore ou de silicium, susceptible de se dissocier à une température inférieure à la fusion du florure, et dont l'un des éléments, très avide de fluor, s'y unit en réduisant l'aluminium. On peut employer comme fluorure le spath ou la cryolithe, mélangés de préférence à une base alcaline qui en facilite la fusion. Le réactif est injecté à l'état de vapeur ou de poussière très fine entraînée par un courant d'hydrogène ou d'azote. La réaction doit s'opérer autant que possible à l'abri de l'air, qui oxyderait l'aluminium.

Nous extrayons des *Comptes rendus de l'Académie des sciences* le procédé Faure :

« La méthode classique pour obtenir les chlorures d'alumi-
» nium, silicium et autres éléments nécessitant une haute tem-
» pérature, consiste à mélanger les oxydes de ces éléments avec
» du charbon et à les soumettre à l'action du chlore libre à une
» température, dans un tube ou récipient qui les protège contre
» les flammes du foyer.

» Le but que je me suis proposé d'atteindre est de supprimer

» la majeure partie des désavantages inhérents à ce système,
» lesquels désavantages résident dans le coût de l'usure des ré-
» cipients, la grande quantité de combustible nécessaire pour
» chauffer à blanc les matières contenues dans ces récipients, la
» lenteur des opérations, le coût du chlore, ainsi que les opéra-
» tions de mélange des matières et du charbon.

» Les importantes données thermochimiques qui ont été pu-
» bliées dans ces dernières années par M. Berthelot et autres
» savants font clairement pressentir que le chlore peut être rem-
» placé par l'acide chlorhydrique, qui est bien moins coûteux.

» J'ai résolu de chauffer les matières directement, sans les mé-
» langer au charbon qui serait brûlé, et en opérant en masse, et
» de les traiter subséquemment par le gaz chlorhydrique mélangé
» d'un hydrocarbure convenable et peu coûteux.

» Tous les hydrocarbnres sont décomposés avec dépôt de char-
» bon à la température mise en jeu : ceci serait fatal au procédé,
» car un dépôt superficiel et floconneux de charbon ne formerait
» pas le mélange intime nécessaire et obstruerait les pores de la
» matière. Mais le mélange à proportion convenable de naphta-
» line et de gaz chlorhydrique donnent, au rouge, un composé
» gazeux indécomposable par la chaleur seule de la température
» produite par un fourneau à vent alimenté au charbon de cornue
» à gaz. Ce composé se dégage des appareils sous forme d'une
» fumée épaisse blanche ne donnant rien à la condensation vers
» 100° C. Cette vapeur attaque au rouge blanc tous les corps oxy-
» dés en question.

» J'ai disposé un fourneau de grande dimension de manière
» à chauffer une masse de matière épaisse de 0,50 *m*, ayant plu-
» sieurs mètres carrés de surface.

» Les flammes d'un four à gaz, muni de récupérateur de cha-
» leur, passent par filtration descendant à travers la matière
» (bauxite, par exemple). Quand on a atteint la température vou-
» lue, on ferme les ouvertures d'admission des gaz de chauffe et
» l'on fait passer le courant gazeux chlorhydrique en sens inverse.
» Le maximum d'effet est obtenu, les gaz sont entièrement uti-
» lisés sans qu'on ait à craindre leur action sur les briques du
» fourneau.

» Ce procédé permet d'obtenir le chlorure d'aluminium en très
» grande quantité et à peu de frais.

Préparation du sodium.

Le sodium jouant un grand rôle dans la production de l'aluminium, les savants se sont beaucoup préoccupés d'en rendre sa préparation facile et économique.

Découvert par Humphry Davy, en même temps que le potassium, il s'obtient par les mêmes procédés. Deville introduisit, dès ses premières recherches sur l'aluminium, de grands perfectionnements dans le mode de préparation d'après les procédés de Gay-Lussac et Thénard.

Il prit 1 000 *g* de soude, et 100 *g* de potasse caustique, qu'il chauffa dans une bassine afin de leur enlever l'eau qu'ils pouvaient contenir. Puis il introduisit, en agitant la matière, 200 *g* de chaux bien vive, et enfin de la tournure de fer broyée dans un mortier et tamisée en quantité telle que le mélange bien brassé parut suffisamment compact, malgré la température rouge vif à laquelle il était soumis. Il étala de cette matière sur une plaque de tôle pour qu'elle se divisât facilement par le refroidissement, et il la mélangea de nouveau avec une forte proportion de tournure de fer. Le tout fut introduit dans une bouteille à mercure munie de son canon de fusil et garnie de tournure de fer seule. Cet appareil, chauffé à une très haute température, donne du sodium ou plutôt du sodium mélangé à du potassium distillant à un point voisin de la température de fusion du fer. Deville relate qu'avec cette disposition la réussite de l'opération est assez difficile, parce que très souvent, l'appareil brûle au moment où le métal alcalin se produit avec une abondance qui est la garantie d'un succès complet.

Pour la production industrielle et dans les essais de Javel dont nous avons déjà parlé, Deville imagina l'appareil continu suivant, basé sur la réduction du carbonate de sodium par la houille, en utilisant le principe des bouteilles à mercure de MM. Donny et Mareska.

Nous extrayons des *Annales de physique et de chimie* la description de ce procédé :

Cet appareil consiste en un tube T *(fig. 14 et 14ª)* de 1,20 *m* de longueur, de 0,14 *m* de diamètre intérieur et de 0,010 *m* à 0,012 *m* d'épaisseur. L'une des extrémités de ce tube est fermée par une plaque percée d'un trou tout près de la paroi du cylindre. Ce trou est destiné à recevoir un tube de 0,05 *m* à 0,06 *m* de longueur et de 0,015 *m* à 0,020 de diamètre intérieur et terminé en forme

de cône pour pouvoir s'adapter au récipient, qui est le même que celui de Donny et Mareska. L'autre extrémité du tube T est fermée par un tampon en fer muni d'un crochet. C'est par cette ouverture qu'on introduit le mélange.

Les tubes T, qui peuvent être associés par séries de deux ou trois dans un même fourneau, doivent être enduits d'un lut résistant qu'on entoure lui-même d'un manchon en terre réfractaire de 0,01 *m* d'épaisseur. Le lut est composé de parties égales d'argile grise et de terre à poêle que l'on pétrit avec de l'eau et du sable de Fontainebleau ; on laisse sécher le tube lentement, puis on l'introduit dans un manchon de terre, en remplissant l'espace vide avec de la brique réfractaire pulvérisée.

Le four qu'a employé Deville est représenté par les figures 14 et 14ª. La grille et le foyer sont partagés en deux parties égales par un petit mur en briques réfractaires de 0,40 *m* à 0,50 *m* de hauteur sur lequel repose la partie moyenne des cylindres de réduction. Le combustible, mélange de coke et de houille, est introduit par des ouvertures latérales K formées par le combustible accumulé sur les tablettes M. Un autel sépare le foyer d'un four à réverbère. Cet autel oblige la flamme du foyer de circuler autour des cylindres. Le réverbère sert à calciner les mélanges pour sodium ou pour aluminium. Comme la température de la sole s'élève au rouge blanc, on pourrait y disposer une série de cylindres de réduction.

Le mélange, calciné pour occuper un plus petit volume, est introduit dans des gargousses de toile ou de papier. On glisse ces gargousses dans le tube et on ferme le tampon à l'aide de terre à poêle. La réduction dure quatre heures ; quand elle est finie, on retrouve les gargousses avec leur forme, mais leur diamètre est réduit à 0,02 *m*, à 0,03 *m* et elles sont très spongieuses. On les retire et on les remplace par de nouvelles gargousses, au moyen d'une pelle demi-cylindrique. On replace le tampon, on ajuste les récipients, etc.

Quand la fabrication marche bien, on ne recueille que du sodium pur ; cependant quand une opération est terminée, avant de rajuster le récipient, on en gratte les plaques et on fait tomber dans de l'huile de schiste la matière qui se détache ; on l'introduit dans une bouteille en fer et on distille, d'abord l'huile, puis le sodium qui y est contenu.

Procédé **Netto.** — L'appareil de M. Curt-Netto pour la fabrication

du sodium se compose d'une cornue en fonte *b (fig. 15)* que l'on remplit de coke ou de charbon de bois et que l'on porte au rouge incandescent. A la partie supérieure et à l'aide de la trémie *d*, on introduit de la soude caustique, maintenue en fusion dans le récipient *e*. Cette soude, qui tombe en gouttes sur le charbon incandescent, le décompose presque instantanément et la vapeur de sodium, qui se dégage librement au travers de la colonne de charbon, va se liquéfier dans le condenseur *g*. La soude non décomposée et le carbonate de soude formé pendant la réaction restent au fond du creuset.

Procédé **Forster**. — L'auteur de ce procédé propose pour la préparation du sodium de lancer un jet de gaz carburé, tel que le gaz d'éclairage au travers d'une masse de soude en ébullition.

Procédé **Thomson et White**. — La méthode employée dans ce procédé consiste à chauffer un mélange en poids de deux parties de carbonate de soude sec avec une et demie de goudron au rouge sombre dans un creuset pour en chasser les parties volatiles; il en résulte un gâteau, que l'on calcine d'abord dans des creusets en fer, puis que l'on introduit dans une cornue de terre réfractaire, préalablement chauffée au rouge et débouchant dans un condenseur, où le sodium se précipite par distillation comme dans le procédé Develle.

Procédé **Castner**. — Le fer en poussière, que l'on mélange au goudron pour composer le carbure que M. Castner emploie comme réactif principal dans la fabrication du sodium, s'obtient par la réduction de l'oxyde rouge de fer à 500° dans un courant d'hydrogène. Ce mélange de fer et de poix est ensuite carbonisé dans de grands creusets, de manière à former une sorte de coke métallique susceptible d'être porphyrisé sans que le fer puisse se séparer du carbone.

La soude caustique que l'on mélange à ce carbure doit être aussi concentrée que possible. Les creusets actuellement employés par M. Castner peuvent contenir environ 6.80 kilogrammes de soude en plus de la proportion de carbure FeC^2 nécessaire pour fournir la réaction fondamentale

$$3NaHo + FeC^2 = 3Na + Fe + Co + Co^2 + 3Ho.$$

Le creuset ainsi chargé est maintenu dans un foyer spécial, à une température modérée, pendant une demi-heure environ : pendant cette opération, la masse fond, entre en ébullition vio-

lente par le dégagement de la vapeur d'eau; néanmoins, grâce à sa densité, le carbure FeC^2 reste, pendant toute la durée de l'opération, en suspension au contact intime de la soude, dont il opère ainsi rapidement la réduction.

Le creuset reste donc, à la fin de l'opération, rempli d'un mélange de fer et de sodium. On le porte alors sur la plate-forme *p* (*fig. 16^c*) de l'un des fours de distillation qui le soulève, au moyen d'un piston hydraulique *h* commandé par *h'*, de manière à l'appliquer fermement sur son couvercle *c*, fixé à la voûte du four. Le bord de ce couvercle pénètre dans une couronne pleine de chaux en poudre qui forme le bord du creuset et constitue ainsi un joint tout à fait étanche.

Le couvercle *c* du creuset est relié par un tube circulaire *t* au condenseur *c'*, analogue à ceux de Deville, percé d'une ouverture *o* pour le dégagement de l'hydrogène et pourvu d'une tringle *t'*, permettant de dégager le tube *t* des obstructions qui pourraient se produire pendant la distillation.

Pendant l'opération, on allume en *o* l'hydrogène dont la flamme permet d'observer les progrès de la distillation, qui commence presque aussitôt le creuset en place et se poursuit à une température de 820° environ. Le gaz qui s'échappe en *o* renferme environ 95 0/0 d'hydrogène et 3 0/0 d'oxyde de carbone provenant de la présence d'un petit excès de carbure. Cet oxyde de carbone ne nuit pas à la qualité du sodium qui s'écoule presque pur sans engorger les tubes *t* des condenseurs.

A la fin de la distillation, il reste dans les creusets un résidu dont la composition moyenne est la suivante :

Carbonate de soude	77 0/0
Peroxyde de sodium	2 »
Carbone	2 »
Fer	19 »

Le poids de ce résidu est d'environ 7,25 *kg* pour une charge de 6,80 *kg* de soude caustique et de 1,95 *kg* de carbone.

On traite ces résidus pour en retirer du carbonate de soude pur cristallisé ou de la soude caustique, et en recouvrer le fer qui sert indéfiniment pour préparer du nouveau carbure. On peut ainsi retirer, de ces 7,25 *kg* de résidus, 5,90 *kg* ou 76 0/0 de carbonate de soude, ou 4,30 *kg* de soude caustique.

On obtient par ce procédé, d'une charge de 7,26 *kg* :

	EN PRATIQUE	EN THÉORIE
	Kilog.	Kilog.
Sodium.	1.30	1.28
Carbonate de soude	5.90	5.90

La durée d'une opération est de une heure et demie, de sorte qu'un four à trois creusets (comme celui qui est représenté par la figure 16 peut traiter en 90 minutes 20,50 *kg* et produire par heure 3,40 *kg* de sodium et 17,70 *kg* de carbonate de soude, soit, en 24 heures, 51,50 *kg* de sodium et 283 *kg* de carbonate de soude.

Le four est chauffé par le gaz d'un gazogène de Wilson, brûlé par un courant d'air chauffé dans les tubes T enveloppés par les flammes perdues, et qui consomme 50 *kg* de charbon par heure.

On admet qu'un creuset peut supporter 200 opérations, ce qui ajoute, de ce fait, une dépense d'entretien de 0,20 *f* environ par kilogramme de sodium produit. En admettant la même somme, 0.20 *f*, pour l'entretien du four, M. Castner en arrive à conclure qu'il peut produire le sodium en grandes masses, au prix commercial de 2,75 *f* le kilogramme.

On produirait aussi le potassium à peu près au même prix.

Ce prix, déjà si bas, pourra diminuer encore en augmentant la dimension des creusets, dont la charge serait portée de 6,80 *kg* à 25 *kg* de soude caustique. La meilleure matière à employer pour ces creusets est la fonte, préférable à l'acier et moins coûteuse.

La dépense de production de 54,50 *kg* (120 livres de sodium) se décompose comme il suit :

	Liv.	S.	D.
720 livres de soude caustique à 11 livres la tonne	3	10	10
150 livres de carbone à 1/2 *d* par livre	0	6	4
Salaires, main-d'œuvre	1	»	»
Charbon.	0	17	—
Reconversion de 624 livres de carbonate de soude en soude caustique à 5 livres par tonne de soude caustique produite	1	»	»
TOTAL. . *à reporter*.	6	14	2

Report. . . .	6	14	2
A déduire la valeur des 475 livres de soude caustique récupérée.	2	6	8
Coût de revient des 120 livres de sodium. . . .	4	7	6

soit 9 pence par livre, ou 1,87 *f* par kilogramme.

Le bon marché du procédé Castner est dû principalement à la basse température des réactions et à leur rapidité; les tubes T ne s'engorgent pas et les pertes sont insignifiantes.

Avec l'ancien procédé, la réduction s'opérait à des températures voisines de 1,500° — destructives des creusets — et avec un dégagement considérable d'oxyde de carbone qui se décomposait au contact du sodium distillé, en formant avec lui un composé pâteux obstruant l'écoulement des condenseurs.

Procédé **Grabau.** — La principale innovation dans l'appareil électrique servant à la préparation du sodium consiste dans la forme de l'électrode B *(fig. 17)*, constituée par une cloche en porcelaine à double paroi, disposée de façon que l'électricité passe tout entière de l'électrode négative en fer E et de son prolongement *u* au travers du bain de chlorure alcalin fondu A, et aucunement au travers des parois de la garniture négative B. C'est, en effet, à ce passage bien plus qu'à l'action du chlore ou du métal que M. Grabau attribue la rapide usure de ces électrodes; usure qui ne se produirait que très lentement avec son appareil, dont le fonctionnement serait ainsi véritablement économique et continu. Les électrodes positives sont constituées par deux charbons CC. Le chlore se dégage en *d*. Le métal, plus léger que son chlorure fondu, surnage et s'évacue par l'intérieur de la cloche et le tuyau *a* dans un condenseur M rempli d'azote ou d'hydrogène par C et plongeant dans du pétrole S. L'alimentation de chlorure se fait par l'ouverture *e*, et le foret H permet de débarrasser de ses obstructions l'électrode tubulaire E.

Procédé **O. M. Thowles.**— La méthode proposée par M. Thowles, pour la fabrication du sodium, consiste à chauffer au préalable en C *(fig. 18)* de la soude caustique et en B du charbon, puis à mettre en présence ces deux corps en ouvrant la trappe D. Il se produit une réaction très vive, plus prompte et plus complète, d'après M. Thowles, que si on mélange d'abord à froid le charbon et la soude. Le sodium distille dans le condenseur E.

Nous n'avons aucun renseignement pratique sur le fonction-

nement du procédé Thowles ; nous doutons même qu'il apporte un perfectionnement sérieux à la fabrication du sodium.

Procédés thermo-électriques et thermo-chimiques.

Nous avons placé dans cette catégorie les procédés : 1° servant à former les alliages d'aluminium avec un autre métal en employant ce métal comme réducteur de l'aluminium ; 2° les procédés employant le carbone et les hautes températures dans le traitement des sels ou oxydes d'aluminium toujours pour la formation des alliages. Dans les deux cas l'agent électrique peut jouer un rôle plus ou moins actif.

Le plus ancien et le plus répandu de ces procédés est celui de Cowles employé à l'usine de Milton en Angleterre.

Procédé **Cowles.** — Nous extrayons d'un mémoire de M. P. W. Thomson présenté à la *Society of chimical Industry* à Liverpool la description suivante de ce procédé :

« Le courant de la dynamo traverse le fourneau par un circuit entièrement métallique à l'exception du point où il est interrompu par les électrodes de charbon et la masse de charbon pulvérisé au sein de laquelle s'opère la réduction.

» Le circuit, constitué par des câbles de treize fils de 0,0071 *m* de diamètre, est pourvu d'un ampèremètre qui donne à chaque instant l'intensité du courant, dont les déviations indiquent exactement la marche du fourneau, et d'une résistance variable à volonté, qui agit comme un dispositif de sûreté lorsqu'on fait passer le courant d'un fourneau à l'autre ou lorsqu'on l'interrompt par un commutateur.

» On a essayé, pour protéger les briques du fourneau, d'abord le charbon de bois pulvérisé, infusible et peu conducteur ; mais il se transforme bientôt en graphite trop conducteur. On évite cet inconvénient en formant la garniture de poussier de charbon lavé puis badigeonné au lait de chaux. On étend cette garniture au fond du fourneau sur une épaisseur de 0,080 *m* environ.

» La charge d'un fourneau se compose ordinairement de :

» 25 livres d'alumine sous sa forme cristallisée de corindon ;

» 12 livres de charbon de bois ;

» 50 livres de cuivre en grenailles, ou mieux, en petits barreaux disposés transversalement à la direction des électrodes et qui ne présentent pas, comme les grains, l'inconvénient de fermer le circuit par leur fusion.

» Le fourneau chargé, on commence l'opération avec les électrodes très rapprochés, en ayant soin d'intercaler une résistance suffisante pour éviter qu'il se forme un court-circuit par la fusion trop rapide du cuivre, puis on écarte graduellement les charbons jusqu'à ce que l'ampèremètre indique 1 300 ampères avec une tension de 50 volts. On maintient ainsi ce régime aussi constant que possible pendant cinq heures, en amenant successivement, par le déplacement des charbons, toutes les parties de la charge dans la zone de réduction ; à la fin de l'opération, lorsque les charbons sont écartés de toute la longueur (0,39 *m*) du fourneau, on interpose la résistance de manière à les transporter sans danger à un autre foyer.

» On augmente le rendement de l'appareil en inclinant les charbons de 30° environ sur l'horizontale.

» La dynamo fait passer dans le fourneau électrique une énergie de 90 chevaux. Au commencement, le cuivre se fond au centre du foyer, puis, la chaleur ne pouvant s'échapper à mesure qu'elle se produit, le corindon entre en fusion et abandonne son oxygène au charbon qui l'entoure.

» On ne saurait affirmer si cette réaction est due à la chaleur seule, à l'électricité seule, ou à ces deux causes à la fois. Si elle est due, comme le pense M. Cowles, à l'électricité seule, nous sommes en présence d'un cas tout particulier d'électrolyse pouvant être accompli par un courant alternatif. S'il n'y avait pas de cuivre, l'aluminium se transformerait, à mesure qu'il se dégage, en carbure d'aluminium cristallisé, tandis que le cuivre, qui entre positivement en ébullition, forme avec l'aluminium un alliage très riche, de 15, 30 et même 40 0/0 d'aluminium, blanc et brillant, que l'on fond en lingots, en y ajoutant la dose de cuivre nécessaire pour constituer le bronze au titre voulu.

» On produit en 10 heures, par deux coulées, environ 100 livres, ou 45 *kg* d'alliage blanc, qui revient à 4,50 *f* le kilogramme.

» On peut remplacer le cuivre par tout autre métal susceptible de s'allier à l'aluminium sans se volatiliser à ces températures très élevées.

» C'est ainsi que MM. Cowles ont fabriqué des alliages de 50 0/0 de fer pour 50 0/0 d'aluminium, 75 0/0 de nickel pour 25 0/0 d'aluminium.

» On peut aussi produire par ce procédé des alliages ternaires d'aluminium, de cuivre, de bore ou de silicium. Lorsqu'on réduit de l'argile (silicate d'alumine), en présence du cuivre, on obtient

un alliage de cuivre d'aluminium blanc, très brillant, cassant, s'il renferme plus de 10 0/0 d'aluminium et de silicium.

Procédé **Héroult.** — Nous empruntons à une note de M. Héroult les détails qui suivent sur ses premiers essais :

« Le procédé consiste dans la décomposition directe de l'alumine en fusion par un courant électrique.

» Dans nos premiers essais, une certaine quantité de cryolithe était employée en vue de donner de la fluidité au baïn ; ce bain était chauffé dans un fourneau, à une température considérable et subissait alors l'action du courant.

» Avec les forts courants le fourneau est devenu inutile, l'échauffement produit dans le bain même étant suffisant pour le maintenir liquide.

» L'appareil consistait dans un creuset et une électrode de charbon sur lesquels nous reviendrons tout à l'heure.

» Le bain était amorcé par une certaine quantité de cuivre et alimenté d'alumine sèche. Sous l'action du courant, l'alumine entrait en fusion, se décomposait, et l'aluminium s'unissait au cuivre garnissant le fond du creuset, au fur et à mesure de sa formation, par donner un bronze d'aluminium. L'oxygène se portait évidemment à l'anode, et comme nous avons dit qu'elle était en charbon il se formait de l'oxyde de carbone, qui se dégageait par un trou ménagé à cet effet dans le creuset.

» A une tension de 20 volts, on faisait passer dans le bain environ 400 ampères produisant en cinq heures 7 *kg* de bronze d'aluminium contenant 20 0/0 d'aluminium. »

La figure 19 représente le creuset de M. Héroult.

Le creuset *a* *(fig. 19)*, qui constitue la cathode, est en charbon très dense, parfaitement aggloméré ; on le place à l'intérieur d'un second creuset en plombagine *b*, et le tout dans un four à creusets ordinaire. Les électrodes *ee'*, également en charbon, et protégées par les tubes en porcelaine *dd'* aboutissent, l'une, la négative *e'* au creuset *a* et l'autre, l'anode, dans le bain de cryolithe et d'alumine en fusion. Le haut du creuset est fermé par un couvercle de terre réfractaire *g* recouvert de poussier de briques *h* et d'argile *h'*.

L'oxyde de carbone dont nous avons parlé plus haut, se dégage par la gaine *d* ; la gaine *d'* est, au contraire, fermée pour empêcher les rentrées d'air dans le creuset.

On ne se servait, dans ces creusets, de la cryolithe, que comme fondant, et on n'alimentait rien qu'avec de l'alumine.

Lorsqu'on veut fabriquer du bronze d'alumine, on peut employer avantageusement l'appareil représenté par la figure 19ª. On commence par verser dans le creuset de charbon *a*, qui constitue toujours la cathode, du cuivre en granules C, jusqu'au contact de l'anode *e* en charbon; le passage du courant fond ce cuivre, qui devient une partie de l'anode *e*. L'alumine A′ que l'on verse ensuite dans le creuset fond en A, se décompose en aluminium qui se combine au cuivre C et en oxygène qui forme de l'oxyde de carbone avec le charbon de l'anode *e*. La tension du courant électrique est de 20 à 25 volts et l'intensité environ 400 ampères par creuset.

On commence d'abord avec une faible charge en ajoutant à mesure du cuivre et de l'alumine. Ce procédé de fabrication a été, croyons-nous, appliqué pendant un certain temps à l'usine de Neuhausen, près Schaffouse, mais il a fait place à la méthode électrolytique perfectionnée, que nous décrirons plus loin.

Procédé **Brin.** — Le creuset ou fourneau électrique de MM. Brin frères est disposé de manière à permettre l'introduction d'un gaz inerte à la naissance de l'arc, de manière à entourer d'une atmosphère neutre le lieu même où se produisent les réactions. Ce gaz inerte agirait alors, d'après MM. Brin, comme un véhicule pour transporter les vapeurs du foyer dans un condenseur, et pour les amener plus intimement, au moment même de leur formation, au contact des métaux avec lesquels on désire former des alliages.

Dans un autre procédé, MM. Brin emploient l'électricité sous deux formes différentes : à haute tension (50 à 100 volts), de manière à faire jaillir l'arc, et à basse tension (2 à 35 volts) par électrolyse proprement dite.

Le bain employé dans le premier procédé, l'électrothermique, est composé de :

Bauxite	100
Sel marin	125
Borax	25

On fond le mélange dans un large creuset fermé ; jusqu'à l'apparition des fumées blanches on y plonge l'électrode négative en carbone, et l'on place l'électrode positive à la surface du bain. L'arc jaillit sous 40 à 100 volts à la surface du bain. L'alumi-

nium se précipite sur l'électrode négative, mais il s'en volatilise une grande quantité, que l'on protège de l'oxydation par un courant d'acide carbonique qui l'entraîne en même temps dans les appareils de condensation disposés à la suite du creuset.

Dans le second procédé, les deux électrodes de carbone plongent dans le bain. Le chlore et les chlorures se dégagent au pôle positif : le sodium et l'aluminium vont au pôle négatif et forment au fond du creuset un alliage riche.

On peut aussi employer des creusets emboîtés entre lesquels on dispose les fondants et l'électrode positive de carbone ; le creuset intérieur renferme l'électrode négative et le bain. On porte le tout au rouge vif et le passage du courant de 20 à 35 volts précipite dans le creuset intérieur un alliage d'aluminium et d'un peu de sodium.

Procédé **Gérard Lécuyer.** — Le foyer électrique employé par M. Gérard Lécuyer est représenté par la fig. 20. L'arc jaillit entre 2 électrodes faciles à remplacer et formées de crayons composés d'un aggloméré de 50 parties d'alumine calcinée, 80 de charbon en poudre, et 100 de poussière de cuivre agglutinée par l'addition d'un peu de résine ou de goudron. Un train de vis sans fin, facile à comprendre sur la figure, permet de faire avancer ces électrodes à mesure qu'elles s'usent. Le bronze d'aluminium ainsi produit tombe sur la sole d'un four à reverbère, garnie d'un peu de chaux pour en faciliter la fusion et chauffée en partie par la combustion de l'oxyde de carbone amené de l'arc par G.

On obtient ainsi une masse riche d'environ 20 0/0 d'alumine.

C'est de cette masse que l'on part pour fabriquer l'aluminium, en la pulvérisant et en lui faisant remplacer, dans la préparation de nouvelles électrodes, les 100 parties de cuivre des électrodes primitives. On arriverait ainsi, après quelques substitutions, à un métal presque pur.

Procédé **Farmer.** — M. G. Farmer a produit directement l'aluminium pur au moyen de l'arc électrique.

Pour y arriver, il fait jaillir l'arc électrique au milieu d'un creuset réfractaire entre deux crayons.

Ces crayons ont de 10 à 15 *mm* de diamètre ; ils sont formés d'une pâte composée par moitié : 1° de charbon ; 2° de corindon ou d'émeri ; le tout est agglutiné avec du sucre ou des résidus de pétrole.

M. Farmer fabrique aussi des crayons comme ceux de la figure 21^{d} : le charbon est creux et, dans l'axe, le corindon est tassé.

Le creuset reçoit, au droit de l'arc voltaïque, par la tuyère E *(fig. 21)*, un jet d'air et de gaz d'éclairage, de vapeur de pétrole, de vapeur d'eau, ou de zinc volatilisé. D'après M. Farmer, ce jet a une action réductrice qui facilite l'opération ; ce jet augmente en outre la température du creuset et y fait intervenir en temps utile les phénomènes de dissociation. Un solénoïde K, en dérivation sur le circuit principal, maintient l'arc au centre du creuset. En effet, l'armature I du solénoïde s'abaisse en *i*, malgré le ressort *k*, dès que la résistance augmente, et met ainsi dans le circuit de la pile J la dynamo H. Les charbons sont ainsi rapprochés à la distance voulue par un mécanisme indiqué sur la figure et facile à comprendre.

On peut disposer les creusets A en série avec des coupe-circuits L qui permettent d'isoler ces creusets dès la fin de l'opération, et en nombre tel que la réduction s'opère d'une manière continue, sans que les génératrices soient interrompues.

Les gaz de la réduction s'échappent par l'évent C', tandis que l'aluminium presque pur s'écoule par le trou de coulée C.

L'avantage du procédé de M. Farmer, c'est de fonctionner indifféremment avec des courants alternatifs ou des courants continus.

Procédé **Pearson et Pratt.** — Ces messieurs ont récemment proposé de fabriquer des alliages de fer et d'aluminium dans le haut fourneau ou dans le cubilot même, en partant directement du minerai d'aluminium. A cet effet, on ajoute au minerai de fer, aussi argileux que possible, du fluorure de calcium ou spath fluor, en place du calcaire ordinaire, puis on le passe au haut fourneau.

Lorsqu'on veut fabriquer ainsi de l'acier aluminé, il faut employer les minerais les plus purs, sans soufre ni phosphore, puis on traite la fonte alumineuse au bessemer comme à l'ordinaire.

Il n'est pas d'ailleurs indispensable de remplacer toute la chaux par du spath fluor ; on obtient de bons résultats en n'en remplaçant que 25 0/0. Avec des minerais du Staffordshire par exemple — protoxyde de fer et alumine — on peut employer une charge composée de 40 de minerai argileux, 11 de chaux, 4 de spath fluor, 60 de charbon avec le vent chaud ou 60 de coke au vent froid.

Procédé **Stéfanite.** — Employé en Allemagne, consistant à

ajouter à la charge du haut fourneau de l'émeri ou de l'alun en poudre ou en briquettes. On obtient ainsi une fonte alumineuse qui, traitée au four à puddler, donne un métal se trempant comme l'acier et beaucoup plus résistant que le fer.

Procédé **Bessemer.** — L'appareil de M. Bessemer *(fig. 22 et 22^{ab})* comprend trois parties : le foyer A, le réducteur B et le condenseur C. Le foyer A, en tôle, garni et bourré de briques réfractaires comme un régénérateur Siemens et capable de résister à une pression de quatre atmosphères, est chauffé par un jet de gaz inflammable et d'air insufflé en *a* et dont les produits brûlés s'échappent par la cheminée X. Une fois les briques portées au rouge, on ferme les ouvertures *a* et X et l'on injecte par le tube *b*, dans le réducteur B préalablement chauffé, un jet de gaz combustible qui y brûle à une température très élevée, sous l'action d'un courant d'air chaud lancé au travers des briques de A, et de la pression élevée qui règne en B. Cette pression est déterminée par l'étranglement au moyen du tampon réfractaire *i (fig. 22^{a})* du tube *g*, par où les gaz s'échappent de B dans C. Une fois le réducteur porté au rouge blanc, on y introduit la charge par l'ouverture *y*. Le minerai d'aluminium, pulvérisé et mélangé à du charbon, puis aggloméré en briquettes, est additionné des fondants nécessaires : carbonates de soude, chaux, borax, etc., aussi sous la forme de briquettes. Une fois le réducteur chargé, on le porte à une température très élevée, sous laquelle la réduction de l'aluminium s'opère par le carbone. L'aluminium, volatilisé à cette haute température, va se précipiter dans le condenseur C, entouré d'une enveloppe d'eau, et où les gaz tombent à la pression atmosphérique.

Le réducteur B est aussi enveloppé d'une garniture d'eau *d*.

Procédés électriques.

Les procédés électriques employés dans la fabrication de l'aluminium sont presque tous basés sur l'électrolyse par fusion ignée des sels doubles d'aluminium et de sodium.

Les premières méthodes, dans lesquelles on tentait l'électrolyse de l'alumine ou plutôt sa décomposition au moyen de l'arc voltaïque, tendent à disparaître de jour en jour à cause de l'énorme force motrice qu'elles exigeaient comparativement aux procédés électrolysant les sels. (Environ trois à quatre fois plus.)

L'alumine ne fond qu'à une température excessivement élevée

(1 000 à 1 100°) et la force motrice nécessaire à sa décomposition est au minimum de 15 à 16 volts. Comme, en vertu de la *Loi de quantité* que nous avons précédemment exposée, la quantité d'électricité nécessaire à la mise en liberté au pôle positif d'un équivalent de l'élément électro-négatif, reste constante et égale à 96,512 coulombs, quelle que soit la tension du courant, avec un courant de 1 000 ampères, représentant 3 600 000 coulombs par heure, on aurait, en traitant de l'alumine :

$$\frac{2}{3} \times \frac{13{,}7 \times 3\,600\,000}{96\,512} = 338\ gr$$

d'aluminium à la cathode, et la force motrice nécessaire serait :

$$\frac{1\,000 \times 16}{9{,}808 \times 75} = 21 \text{ chevaux.}$$

Soit, au maximum, 15 *g* par cheval-heure. Ce chiffre est encore bien au-dessus de la vérité, car nous n'avons pas tenu compte de la résistance de l'électrolyte, qui nécessite l'emploi d'une différence de potentiel entre les électrodes sensiblement plus élevée que la force électromotrice minima de décomposition strictement nécessaire à l'électrolyse du bain.

Les sels d'aluminium, au contraire, ont des chaleurs de formation ne dépassant généralement pas 80 calories, ce qui fait que la tension minimum indispensable à leur décomposition est beaucoup moins élevée que pour l'alumine. On a, en effet, d'après la loi de Thomson :

$$E = 0{,}0435\ C.$$

Pour le chlorure d'aluminium :

$$C = 79{,}5,$$

d'où :

$$E = 3{,}46 \text{ volts.}$$

Ce qui fait que pour 338 *g* d'aluminium déposés, en une heure, par un courant de 1 000 ampères, à la cathode il faudrait seulement :

$$\frac{1\,000 \times 3{,}46}{9\,808 \times 75} = 5 \text{ chevaux,}$$

correspondant à 67 *g* par cheval-heure. Nous n'avons pas encore tenu compte de la résistance du bain et des courants parasites dans cet exemple, nous avons simplement voulu mettre en évidence le grand avantage qu'il y a, au point de vue économique, de traiter les sels d'aluminium de préférence à l'alumine.

Dans cette étude de la production de l'alumine par fusion ignée,

nous aurons souvent à citer le nom de notre camarade, M. Adolphe Minet. C'est, en effet, lui, qui par ses recherches dans l'usine de MM. Bernard frères, à Creil, a pour ainsi dire fondé la théorie de l'électrolyse par fusion ignée. Qu'il nous soit permis de rendre ici l'hommage qui est dû à ses intéressants travaux, et c'est sur son procédé que nous proposons d'étudier dans ses détails le phénomène d'électrolyse par voie sèche des sels d'aluminium.

Procédé **Minet.** — Il faut dire tout d'abord que l'électrolyse par fusion ignée des sels d'alumine présente de grandes difficultés.

L'aluminium est le métal dont la température de fusion est la plus élevée parmi les métaux pour lesquels l'électrolyse par fusion ignée semble d'une application réalisable *immédiatement*.

CHOIX DE L'ÉLECTROLYTE, SES PROPRIÉTÉS PHYSIQUES (1).

Il y a deux sortes de sels d'aluminium qui peuvent s'électrolyser à l'état fondu : les sels halogéniques, c'est-à-dire ceux où le radical acide est un halogène, et les oxysels ou sels doubles constitués par de l'oxyde d'aluminium combiné avec un sel halogénique d'aluminium : oxychlorure, oxyfluorure, et peut-être les sulfures.

M. Minet a étudié plus particulièrement les oxyde, chlorure et fluorure d'aluminium.

A l'état de sel simple, le fluorure d'aluminium $Al^{\overset{2}{3}}Fl$ est difficilement fusible, le chlorure $Al^{\overset{2}{3}}Cl$ très volatil à sa température de fusion.

Pour que l'action électrolytique se produise et continue avec une marche régulière, il est *essentiel* que l'électrolyte se présente avec un état particulier de *fluidité*, le plus voisin possible de l'état d'*un sel en dissolution*, qu'il est difficile d'atteindre avec les sels simples dont nous venons de donner les formules.

On a songé à combiner les sels d'aluminium avec le sel d'un autre métal, plus électro-positif, le sodium par exemple ; à former ainsi un sel double et, en plus, à mélanger ce dernier avec un excès d'un sel de sodium ayant le même radical acide ou un radical différent.

Nous avons essayé successivement :

(1) Conférence aux Ingénieurs-Électriciens.

		Pour 100.
1er mélange.	Chlorure double d'aluminium et de sodium Al^2Cl, NaCl.	25 à 45
	Chlorure de sodium NaCl	75 à 55
2e mélange.	Fluorure double d'aluminium et de sodium Al^2Fl^3, NaCl.	25 à 45
	Chlorure de sodium NaCl	75 à 55

Le chlorure double d'aluminium et de sodium, même lorsqu'il est mélangé avec un excès de chlorure de sodium, est encore trop volatil et très instable; nous entendons, par ces termes, que sa température de volatilisation est très voisine de sa température de fusion; il est très corrosif et d'un maniement difficile; il donne naissance à d'abondantes vapeurs de chlorure anhydre d'aluminium.

Le bain électrolytique à base de chlorure d'aluminium s'appauvrit rapidement; il devient pâteux à cause de la faible quantité de chlorure qu'il retient; l'électrolyse s'opère très irrégulièrement, la composition du bain ne restant pas constante.

Le bain à base de fluorure (2e mélange) donne de bien meilleurs résultats. Il est suffisamment fluide dès 900°; jusqu'à 1 100°, il n'est presque pas volatil; à cette dernière température, qui est le maximum atteint dans nos expériences, il ne perd guère, par volatilisation, en vingt-quatre heures, qu'une quantité représentée par les $\frac{4}{100}$ à $\frac{5}{100}$ de la masse totale en fusion.

L'électrolyse s'opère normalement, c'est-à-dire qu'elle suit les lois de l'électrolyse par voie humide. Les résultats obtenus sont dus surtout à la disposition particulière du vase qui renferme l'électrolyte et qui, grâce à un *artifice physique* que nous décrivons plus loin, ne subit aucune attaque du fluorure en fusion. Il a pu être fait avec le même vase des expériences de plus de mille heures sans arrêt.

Régénération du bain. — Le fluorure double d'aluminium et de sodium existe dans la nature, au Groenland, en un état de pureté suffisant pour qu'il puisse être employé tel quel à la formation du bain électrolytique.

A 900°, la masse est fondue, le bain très fluide et transparent, au point que l'on voit le fond du vase sous une épaisseur de 35 *cm* d'électrolyte.

Au passage du courant, l'aluminium se porte au pôle négatif, et en même temps sont mis en liberté au pôle positif du fluor qui se dégage et du fluorure de sodium qui reste dans le bain, de façon que, si l'alimentation, au fur et à mesure de la décomposition, se faisait avec de la cryolithe seule, le bain s'enrichirait de

fluorure de sodium, et l'on serait vite arrêté à cause de l'excès de ce sel qui donnerait lieu à une production de sodium au lieu d'aluminium.

Cette considération est un résultat d'expérience. On évite cet inconvénient au moyen de deux procédés basés sur des principes différents, mais dont le résultat est le même.

(α) *Régénération du bain par le fluorure d'aluminium.* — Cette méthode était tout indiquée. Il suffit, en effet, de verser au fur et à mesure de la décomposition du fluorure d'aluminium, partie constitutive du fluorure double d'aluminium et de sodium contenu dans le bain, des quantités équivalentes de ce sel, pour maintenir constante la constitution du bain. Mais cette méthode entraîne une perte de fluor équivalente à la quantité d'aluminium produit.

(β) *Régénération par l'oxyde d'aluminium ou alumine.* — Qu'arrive-t-il si, au lieu du fluorure d'aluminium, on ajoute dans le bain de l'alumine calcinée, à l'état de poudre très fine, et cela tout autour des anodes ou électrodes positives?

Première hypothèse. — L'alumine se dissout en partie dans le fluorure de sodium devenu libre et s'électrolyse en même temps que le fluorure d'aluminium. Elle peut former, avec ce dernier sel, un oxysel qui se dissout également dans le fluorure de sodium en excès, et qui est également électrolysé.

Seconde hypothèse. — Au contact du fluor qui est mis en liberté au pôle positif, elle se transforme en fluorure d'aluminium, d'après la réaction

$$Al^{\frac{3}{3}}\,O + Fl = Al^{\frac{3}{3}}\,Fl + O.$$

L'expérience a démontré que l'une et l'autre de ces deux hypothèses se vérifiaient, et qu'il se dégageait, dans le cas où l'alimentation se fait avec un mélange de fluorure d'aluminium et d'alumine, au pôle positif, du fluor ou de l'oxygène, et quelquefois les deux gaz.

L'excès de l'un de ces deux gaz sur l'autre dépend des proportions dans le bain, à l'état libre, de l'oxyde et du fluorure d'aluminium.

Remarque. — Il importe toutefois, pour que la marche de l'électrolyse soit régulière, que la composition du bain reste constante et, pour arriver à cela, d'opérer des analyses fréquentes du

bain. On sait combien sont délicates les analyses de fluorure et de chlorure, surtout lorsqu'elles doivent se faire rapidement.

On peut tourner la difficulté en nous basant sur la solubilité du chlorure de sodium et l'insolubilité du fluorure double d'aluminium et de sodium et de l'alumine. Voici comment on procédera pour faire l'analyse du bain :

Soient p le poids du bain à analyser, finement pulvérisé; P une quantité d'eau que l'on mélange au poids p et dans laquelle se dissout le chlorure de sodium, dont le poids est p'.

Lorsque la proportion τ du chlorure de sodium dissous ne dépasse pas $\frac{P}{10}$, sa valeur peut être déterminée par une expression mathématique simple.

Soit δ la densité de la solution; on peut écrire :

$$\delta = a + b\tau = 1 + 0{,}75\,\tau.$$

Or, si nous faisons $P = 10\,p$, on a dans tous les cas l'identité :

$$\tau = \frac{\delta - 1}{0{,}75};$$

δ est mesuré au moyen d'un densimètre. La quantité p' de chlorure de sodium dissous est déduite de la relation :

$$\frac{p'}{\tau} = \frac{P}{1 - \tau},$$

d'où

$$p' = P\,\frac{\tau}{1 - \tau}.$$

Il sera dès lors facile de calculer la quantité p'' de matières insolubles (fluorures doubles et oxyde) contenues dans p,

$$p'' = p - p'$$

et l'on aura finalement, comme expressions des proportions de chlorure de sodium et des matières insolubles contenues dans le bain :

Chlorure de sodium . . . . . $\tau' = \frac{p'}{p}$

Fluorure d'aluminium et de sodium. . $\tau'' = \frac{p - p'}{p}$

Nature et dimensions du vase qui renferme l'électrolyte. Nature et dimensions des électrodes.

Le problème qui fait le sujet de ce paragraphe se divise en deux parties :

Un électrolyte étant donné, il fallait, en effet, établir un vase et des électrodes qui satisfissent à certaines conditions que nous allons passer en revue.

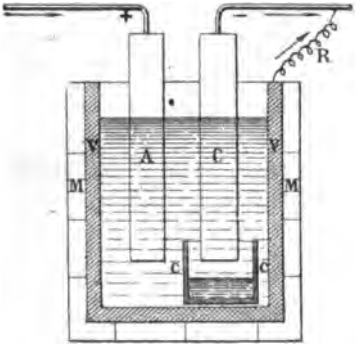
La *cuve* ou vase doit être d'une nature telle, qu'elle ne puisse être attaquée par le bain ; outre que cette attaque nuirait à la constance du bain en y apportant des éléments étrangers, elle mettrait rapidement la cuve hors d'usage.

Or, aucune substance, en dehors du charbon aggloméré, ne résiste à l'action corrosive des fluorures fondus.

Une cuve en charbon est difficilement applicable à cause de de son manque d'homogénéité et de son inégale conductibilité pour la chaleur. Il se produit rapidement des fissures dans une cuve en charbon, et l'opération ne peut y être conduite pendant une longue durée.

Après un grand nombre d'essais infructueux, nous avons adopté une cuve métallique (fonte) de la forme d'un parallélépipède, dont les arêtes ont présenté une longueur variant entre 0,20 *m* et 0,40 *m*, suivant l'intensité du courant lancé dans l'électrolyte, intensité qui a varié elle-même entre 89 et 1 430 ampères.

Mais cette cuve, quelle que soit du reste la nature du métal employé dans sa constitution, eût été attaquée par le bain, si nous n'avions pas employé l'artifice représenté croquis n° 1.



Croquis n° 1

La cuve VV est revêtue d'une garniture en maçonnerie MM qui la protège contre l'action des gaz chauds qui l'enveloppent.

Les électrodes (A pôle positif, C pôle négatif) sont constituées de charbon aggloméré, de composition analogue au charbon à lumière.

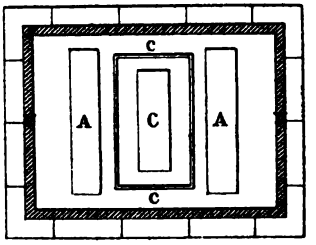
Immédiatement sous la cathode C se trouve déposé un creuset *cc* recevant, au fur et à mesure de sa production, le métal qui s'écoule de la cathode.

La cuve est établie en dérivation sur la cathode par l'intermédiaire d'une résistance R, de façon que les $\frac{5}{100}$ du courant total la traversent ; il passe donc par la cathode les $\frac{95}{100}$ du courant qui agissent utilement pour l'électrolyse.

Au moyen de cet artifice, les parois intérieures de la cuve sont

continuellement recouvertes d'une couche d'aluminium infiniment mince qui la protège contre l'action corrosive du bain. De fait, le métal reçu par le creuset *cc* ne renferme que des proportions très faibles du métal de la cuve (le fer, pour le cas qui nous occupe), proportions qui ne dépassent pas $\frac{2}{1000}$ à $\frac{5}{1000}$.

Nous donnons (croquis n° 2) la projection horizontale de l'appareil, dans le cas où l'intensité du courant atteint 1 400 ampères. On est forcé alors de mettre deux anodes A dont les dimensions sont telles que la résistance de l'électrolyte reste constamment inversement proportionnelle à l'intensité maximum du courant qui traverse la cuve.



Croquis n° 2.

Lorsqu'on veut produire du métal pur, la cuve métallique est garnie intérieurement de plaques de charbon GG. Si, au contraire, l'aluminium doit entrer dans un alliage où le métal de la cuve entre également comme partie constituante, la garniture GG peut être supprimée.

Marche générale du phénomène électrolytique par fusion ignée ; son expression mathématique en fonction des constantes du courant ; poids du métal produit en fonction des quantités d'électricité mise en jeu.

(a). Marche générale du phénomène électrolytique par fusion ignée. — Le tableau 7 témoigne de la régularité de l'opération. On remarque, en effet, que, bien que l'intensité du courant variait dans de grandes proportions, puisqu'elle partait d'un minimum égal à 89 ampères et atteignait un maximum de 1 330 ampères, abstraction faite du courant dérivé sur la cuve, la différence du potentiel aux électrodes restait sensiblement constante.

TABLEAU 7.

Constantes électriques de l'électrolyse par fusion ignée des oxyde et fluorure d'aluminium.

DATE de L'EXPÉRIENCE	NATURE de LA CATHODE	DURÉE de L'EXPÉRIENCE	INTENSITÉ du COURANT I	DIFFÉRENCE de POTENTIEL aux électrodes e	POIDS DU MÉTAL DÉPOSÉ	POIDS DU MÉTAL CALCULÉ	COEFFICIENT de RENDEMENT
1888		h	amp.	volts.	*gr.*	*gr.*	0/0
7 mai.	charbon . . .	12	89	5,5	280	363	55
8 juin.	charbon . . .	12	124	5,5	320	506	63
13 juillet. . .	charbon . . .	14	90	4,0	260	428	60
25 juillet. . .	charbon . . .	24	118	4,5	570	922	61
22 septembre .	fer.	23	100	5,5	400	782	51
30 octobre . .	charbon . . .	12	200	4,25	520	816	63
26 novembre .	charbon . . .	12	142	4,75	380	579	65
10 décembre .	charbon . . .	12	160	5,75	420	653	64
27 janvier. . .	charbon . . .	12	110	5,0	270	449	60
4 février . . .	charbon . . .	13	180	6,0	500	796	62
24 mars. . . .	charbon . . .	12	255	5,5	600	1 040	57
4 août	charbon . . .	12	360	6,0	1 000	1 469	68
1889							
23 juillet. . .	charbon . . .	22	650	5,8	2 430	4 860	50
24 juillet. . .	charbon . . .	22	650	5,8	2 550	4 860	52
30 septembre .	charbon . . .	20	700	5,6	2 600	4 760	54
10 octobre . .	charbon . . .	20	700	5,6	2 600	4 760	54
20 novembre .	charbon . . .	20	800	5,6	2 800	5 440	52
22 novembre .	fer.	20	800	5,8	3 400	5 440	62
5 décembre. .	fer.	20	800	5,8	3 800	5 440	66
1890							
15 janvier . .	fer.	11	950	6,0	2 100	3 550	60
20 janvier. . .	fer.	7	975	6,1	1 900	2 320	82
7 février . . .	charbon . . .	7	1 200	6,35	1 680	2 860	60
2 mars. . . .	charbon . . .	7,5	1 330	6,00	1 850	3 393	55

Ce résultat a été obtenu par la précaution qu'on avait d'augmenter les dimensions des électrodes (cathode et anode), de façon que la densité du courant maximum était toujours la même.

Et, remarque importante, chaque fois qu'on se départait de cette précaution, la marche du phénomène devenait irrégulière et ne pouvait plus être exprimée par l'expression mathématique que nous avons donné précédemment.

Les dispositions représentées croquis n° 1 ont permis également de prolonger l'expérience pendant de longues durées, et cela sans arrêts autres que ceux qui étaient nécessités par l'entretien des machines à vapeur actionnant les machines électriques.

Le tableau 8 donne quelques points d'expériences de longue durée. Bien que les résultats obtenus soient plutôt du domaine

industriel, il nous a paru intéressant de les reproduire, afin de fixer un point historique de la question qui nous occupe.

TABLEAU 8.

DATES	NOMBRE de JOURS	HEURES de MARCHE	HEURES D'ARRÊT	NOMBRE de CUVES	POIDS DU MÉTAL déposé
					kg
Novembre 1888	30	715	5	6	140
Avril 1889	30	715	5	6	160
Juillet-août 1889	36	858	6	6	288
Septembre-octobre 1889	42	1 001	7	6	504

Force électromotrice minima de l'électrolyte. — Les chaleurs de formation (état solide) des sels d'aluminium qui entrent dans la formation du bain ou qui peuvent se produire par des réactions secondaires et les forces électromotrices minima qui en résultent sont comprises dans le tableau suivant :

TABLEAU 9.

Chaleurs de formation des sels d'aluminium.

COMPOSÉS		FORMULES ÉLECTROLYTIQUES	CHALEUR de FORMATION (c)	FORCE ÉLECTROMOTRICE minima (E)
. . . . .				
État solide.	Fluorure.	$Al^{\frac{2}{3}}Fl$	73,3	3,19
	Oxyde	$Al^{\frac{2}{3}}O$	65,3	2,84
	Chlorure.	$Al^{\frac{2}{3}}Cl$	52,6	2,33

La chaleur de formation du fluorure d'aluminium n'a pas été déterminée expérimentalement ; celle que nous adoptons se déduit de la chaleur de formation de l'acide fluorhydrique, qui a été trouvée égale à 39,6 par MM. Berthelot et Moissan.

Comparons, en effet, les chaleurs de formation des composés de l'hydrogène et de ceux de l'aluminium avec les halogènes, autres que le fluor, à l'état gazeux pour les premiers composés, solide pour les seconds.

TABLEAU 10.

COMPOSÉS DE L'ALUMINIUM			COMPOSÉS DE L'HYDROGÈNE			DIFFÉRENCE entre les deux CHALEURS de formation
NOMS	FORMULES électrolytiques	CHALEUR de formation	NOMS	FORMULES électrolytiques	CHALEUR de formation	
Chlorure.	$Al^{\frac{2}{3}}Cl$	53,6	Acide chlorhydr. .	H Cl	22	31,6
Bromure	$Al^{\frac{2}{3}}Br$	44,2	Acide bromhydr. .	H Br	9,5	34,7
Iodure	$Al^{\frac{2}{3}}I$	28,8	Acide iodhydr. . .	H I	—6,2	35

On peut admettre que la *différence* entre la chaleur de formation du fluorure d'aluminium et celle de l'acide fluorhydrique est sensiblement la même que pour les autres composés halogéniques de l'aluminium et de l'hydrogène.

Cette différence a varié de $31^{Cal},6$ à 35^{Cal}; elle présente une moyenne pour les composés chlorés, bromés, iodés, égale à $33^{Cal},7$.

On pourra ainsi calculer la chaleur de formation du fluorure d'aluminium :

	Cal
Chaleur de formation de l'acide fluorhydrique.	39,6
Moyenne des différences entre la chaleur de formation des composés d'aluminium et de l'hydrogène avec les halogènes	33,7
Chaleur de formation du fluorure d'aluminium.	73,3

Le tableau 9 renferme également les chaleurs de formation de l'alumine hydratée et du chlorure d'aluminium anhydre.

Il existe des quantités notables de ce dernier sel dans le bain électrolytique, qui proviennent de la réaction du fluorure d'aluminium libre, c'est-à-dire non à l'état de sel double, sur le chlorure de sodium

$$NaCl + Al^{\frac{2}{3}}Fl = NaFl + Al^{\frac{2}{3}}Cl,$$

le fluorure de sodium résultant de cette réaction se combine avec les quantités de fluorure d'aluminium restant à l'état libre

$$NaFl + Al^{\frac{2}{3}}Fl = NaFl, Al^{\frac{2}{3}}Fl$$

pour former un sel double.

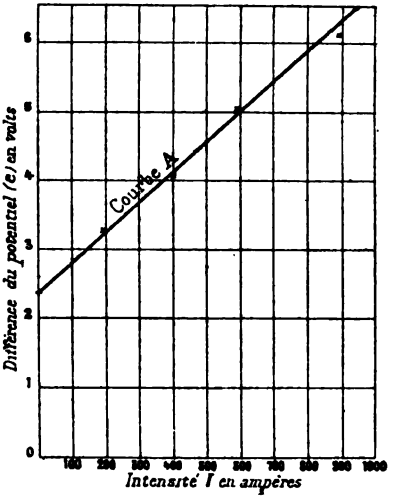
La chaleur de formation de l'oxyde d'aluminium anhydre est peu différente de celle de l'hydrate d'aluminium, celui-ci faisant partie de la série des hydrates faibles. Elle n'a du reste pas été déterminée expérimentalement.

Température de l'électrolyte. — Elle subit quelques variations pendant la série des expériences qui suivent, et, dans chaque cas, elle était déduite de la teinte que présentait le bain, par comparaison avec l'échelle suivante :

Rouge naissant	525°
Rouge sombre	700
Cerise naissant	800
Cerise	900
Cerise clair	1 000
Orangé foncé	1 100
Orangé clair	1 200
Blanc	1 300
Blanc soudant	1 400
Blanc éblouissant	1 500

Cette méthode, incertaine lorsqu'on se trouve en présence d'un seul bain, permet de déterminer la température avec une assez grande approximation lorsqu'il existe plusieurs bains, disposés les uns à côté des autres, ayant des teintes différentes, surtout lorsqu'il importe de déterminer la *valeur relative* de leur température plutôt que la valeur absolue (1).

Constantes du courant. — Les expériences effectuées dans le but de déterminer ces quantités sont représentées dans une série de courbes et de tableaux A, B, C. La disposition des appareils et la composition du bain étaient celles que nous avons données. Si l'on considère la courbe A, on voit que les points relevés par l'expérience se confondent avec une droite ne passant pas par l'origine, ce qui démontre que le phénomène électrolytique par fusion ignée suit la même loi que l'électrolyse par voie humide.



Formule de la courbe A :

$$e = E + \rho I = 2{,}4 + 0{,}0044\ I.$$

Intensité I. amp.	Différence de potentiel e mesurée. volts	calculée. volts
196	3,26	3,26
403	4,12	4,17
585	5,05	4,97
885	6,18	6,29

Température . . . 900°.

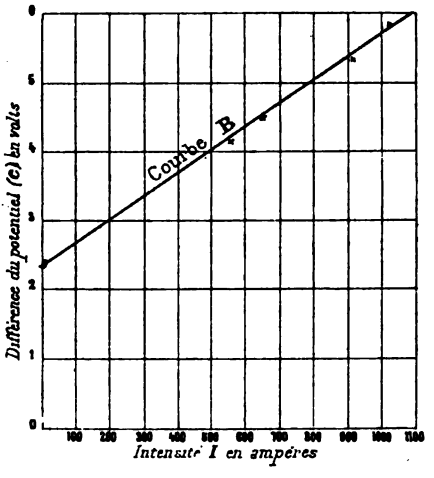
Dans cette expérience, la température était de 900°. La force électromotrice minima était égale à 2,4 volts. Elle est peu différente de celle du chlorure d'aluminium, qui est de 2,32 volts et de la force électromotrice minima de l'alumine hydratée, qui est

(1) De nouvelles déterminations de températures doivent être prochainement opérées avec la pile thermo-électrique Le Chatelier, qui donne des résultats d'une extrême rigueur.

égale à 2,84 volts. Pendant la marche, le bain était alimenté, du reste, avec de l'alumine, et nous avons constaté des dégagements d'oxygène au pôle positif.

Nous ajouterons que d'autres courbes tracées dès le début de l'expérience, alors qu'il n'y avait comme électrolyte que du fluorure d'aluminium, correspondaient aussi à une force électromotrice variant entre 2,3 et 2,6, suivant la température.

La courbe B a été tracée à une température supérieure de 100° à celle de la courbe A. La force électromotrice minima de l'électrolyte n'a pas beaucoup varié avec l'augmentation de température ; elle présente, en effet, une valeur égale à 2,34 volts. La résistance du bain, au contraire, est plus faible.



Formule de la courbe B.

$$e = E + \rho I = 2{,}34 + 0{,}0033\ I.$$

Intensité I. amp.	Différence de potentiel e mesurée. volts	calculée. volts
572	4,23	4,23
650	4,48	4,48
910	5,30	5,50
1 030	5,78	5,74

Température . . . 1 000°.

Il était intéressant d'augmenter encore la température pour déterminer la relation possible entre cette quantité et la force électromotrice du bain, ainsi que la résistance de l'électrolyte.

La courbe C correspond à une température de 1 100°. Il est difficile de dépasser cette température, qui est voisine de la température de fusion de la fonte qui constitue la cuve.

La force électromotrice minima, déduite de la courbe C, est inférieure aux deux précédentes, mais dans des proportions telles qu'on peut admettre que l'action due à la température est très faible *jusqu'à* 1 100°.

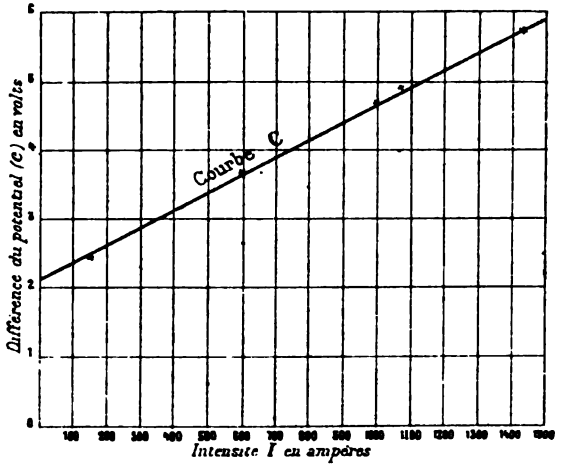
Au contraire, la résistance de l'électrolyte est descendue à 0,0025 ohm.

On a successivement pour la valeur de cette quantité, calculée au moyen de l'expression :

$$\rho = \frac{e - E}{I}.$$

Courbes	Température $t°$.	Résistance ρ.
—	—	—
	°	ohm
A.	900	0,0044
B.	1000	0,0033
C.	1100	0,0025

Ces résultats permettent d'établir une relation entre la résis-



Formule de la courbe C :

$$e = E + \rho I = 2{,}17 + 0{,}025\ I.$$

Intensité I.	Différence de potentiel e	
	mesurée.	calculée.
amp.	volts	volts
152.	2,48	2,55
598.	3,65	3,67
1 070.	4,90	4,84
1 430.	5,74	5,74
Température	1 100°.	

tance de l'électrolyte et la température ; les valeurs de ces quantités répondent, en effet, à l'expression :

$$\rho = a_1 - b_1 t,$$

qui est celle d'une droite ne passant pas par l'origine.

Les coefficients a_1 et b_1 de cette droite peuvent être déduits des chiffres de l'expérience, et l'on a finalement l'expression :

$$\rho = 0{,}0143 - 0{,}000011\ t,$$

qui permet de calculer la résistance du bain en fonction de la température.

Il faut faire remarquer que dans ces résistances sont comprises non seulement celle de l'électrolyte, mais encore la résistance des électrodes et de la couche de gaz entre les électrodes et le bain.

Résumé. — Il résulte de tous ces chiffres plusieurs points bien définis :

1° Lorsqu'on dispose les électrodes de façon à maintenir constante la densité du courant correspondant à l'intensité maximum, le phénomène d'électrolyse par fusion ignée est représenté théoriquement et pratiquement par l'expression mathématique :

$$e = E + \rho I.$$

2° La densité du courant à la cathode a pu atteindre un maximum égal à 2,5 ampères ; la limite de cette densité et, par suite, de la surface de la cathode, pour une intensité donnée, n'est fixée que par les dimensions de la section droite de l'électrode, fonction elle-même de l'intensité du courant. La densité *maximum* du courant à l'anode est restée constante et égale à 1 ampère.

3° Lorsque la densité du courant aux anodes est égale ou inférieure à 1 ampère, la résistance de l'électrolyte varie en fonction de la température du bain ; la relation entre ces deux quantités est représentée par une expression mathématique de la forme

$$\rho = a_1 - b_1 t.$$

4° Pour une température donnée et des densités à l'anode inférieures à 1 ampère, la résistance de l'électrolyte est en raison inverse de la surface des anodes, la surface de la cathode et l'écartement des électrodes restant constants.

Poids du métal déposé en fonction des quantités d'électricité qui traversent l'électrolyte. — La quantité d'aluminium correspondant au passage, dans l'électrolyte, d'une quantité d'électricité égale à 1 coulomb, déduite de l'équivalent électrochimique de ce métal, est de 0,095 *gr*, et, par conséquent, pour une quantité d'électricité égale à 1 ampère-heure (3 600 coulombs), elle est de 0,34 *gr*.

C'est avec ce dernier coefficient qu'on a calculé les chiffres contenus dans la septième colonne du Tableau 7.

Si on se reporte aux résultats de l'année 1890 qui offrent le plus de garantie, on remarque qu'avec une cathode en fer on recueille des proportions de métal variant entre $\frac{60}{100}$ et $\frac{82}{100}$ du poids théorique.

Avec une cathode en charbon, la quantité du métal recueilli varie entre les $\frac{60}{100}$ et $\frac{55}{100}$ du poids donné par la théorie.

Cet écart est dû à plusieurs causes. Il arrive parfois que la différence de potentiel pendant un certain temps augmente, pour une raison ou pour une autre, au point de décomposer le chlorure de sodium qui accompagne les sels d'aluminium, d'où perte d'une portion du courant au détriment de l'électrolyse principale.

Ce phénomène se produit surtout vers la fin de l'opération, lorsque les anodes, par leur usure, ont diminué de surface, et la marche de l'électrolyse devient irrégulière.

Toutes les courbes tracées plus haut correspondent, au contraire, au début de l'opération.

Autre cause. — Il existe toujours dans le bain, quelle que soit sa température, des quantités notables de fluor libre qui attaque le métal déposé. Cette réaction secondaire est même une des principales causes des pertes dont nous parlons, puisque la proportion du métal obtenu est plus grande avec les cathodes en fer qu'avec les cathodes en charbon ; or, avec la cathode en fer, le métal s'écoule plus facilement, au fur et à mesure de sa production, qu'avec les cathodes en charbon.

Cela peut se constater par l'expérience : lorsqu'on retire du bain la cathode en fer, sa surface est lisse et ressemble à un miroir argenté. Au contraire, on remarque sur la surface de la cathode en charbon de grosses perles qui doivent tomber, plutôt qu'elles ne s'écoulent, dans le petit creuset *cc*, et qui restent, par conséquent, plus longtemps que l'aluminium de la cathode en fer au contact du fluor libre contenu dans le bain.

Remarque. — On n'emploie des cathodes métalliques que lorsque l'aluminium doit faire partie d'alliages où le métal de la cathode est aussi une des parties constituantes.

Phénomène de polarisation des électrodes après le passage du courant.

Lorsque, après avoir fait passer pendant quelques heures un courant d'une intensité de 800 ampères environ, on rompt subitement les connexions de la machine, et qu'on réunit les électrodes polarisées par un conducteur métallique d'une résistance de 0,075 *ohm*, le conducteur est traversé par un courant qui atteint au bout d'une heure une intensité constante, cela pendant un temps dont nous n'avons pas pu fixer la durée à cause du refroidissement rapide du bain.

Voici les chiffres obtenus par l'expérience ; les conditions, pour ce qui concerne les dimensions des électrodes, étaient les mêmes que celles qui correspondent aux courbes A, B, C.

D'autres essais ont été faits, qui se rattachent au phénomène de polarisation, dont le but était de déterminer tout à la fois la force électromotrice de polarisation et la résistance de l'électrolyte aux différents moments de l'expérience.

On faisait passer dans le bain, pendant quatre heures, un courant d'une intensité de 800 ampères environ ; les connexions des électrodes avec la machine étaient supprimées, et l'on mesurait à divers moments la force électromotrice de polarisation en prenant la différence de potentiel à circuit ouvert et la différence de potentiel aux électrodes, après avoir réuni ces dernières au moyen de résistances connues et d'inégales valeurs.

La différence de potentiel à circuit ouvert (force électromotrice de polarisation) était prise au commencement et à la fin de chacune des quatre périodes d'essais; le tableau 11 indique que sa valeur était restée constante, pour chacune des périodes, pendant tout le temps de l'expérience.

TABLEAU 11.

Détermination de la résistance du bain pendant le phénomène de la polarisation.

PÉRIODES D'ESSAIS	RÉSISTANCE EXTÉRIEURE	DIFFÉRENCES de potentiel (*e* et E)	INTENSITÉ I	RÉSISTANCE du bain calculée	MOYENNES des résistances du bain	MOYENNE générale de la résistance
		volts				
	circuit ouvert	1,72	0	»		
1.....	0ω,0750	1,58	21	0,0081	0,0076	
	0ω,0125	1,10	88	0,00705		
	circuit ouvert	1,72	0	»		
	circuit ouvert	1,26	0	»		
	0ω,0125	0,795	64	0,0072		
2.....	0ω,0083	0,715	86	0,0063	0,0067	
	0ω,0050	0,550	110	0,0065		
	circuit ouvert	1,26	0	»		0,0071
	circuit ouvert	1,17	0	»		
3.....	0ω,0125	0,755	60,4	0,0068	0,0070	
	0ω,0050	0,480	96	0,0072		
	circuit ouvert	1,17	0	»		
	circuit ouvert	0,825	0	»		
4.....	0ω,0125	0,510	40,8	0,0077	0,00735	
	0ω,0050	0,343	68,6	0,0070		
	circuit ouvert	0,825	0	»		

On pouvait dès lors appliquer la formule, pour trouver la valeur de ρ :

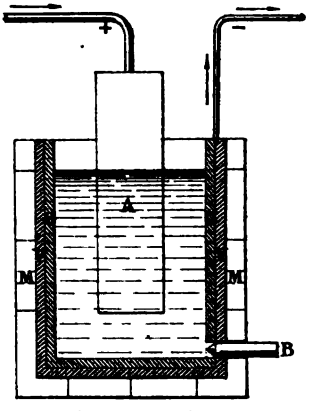
$$\rho = \frac{E - e}{I}.$$

De l'inspection du tableau 11, il résulte que, pour des intensités variant entre 0 et 100 ampères et des forces électromotrices de polarisation oscillant entre 0,825 volt et 1,720 volt, la résistance de l'électrolyte est restée sensiblement constante et égale à 0,0071 ohm.

Nous avons vu que, lorsque l'électrolyte était traversé par un courant plus puissant, sa résistance avait une valeur sensiblement égale à la moitié de celle qui correspond au phénomène de polarisation. Cette différence résulte, sans doute, de l'abaissement de température du bain; et, de fait, dès qu'on interrompait le passage du courant, dont l'intensité était voisine de 800 ampères, la teinte du bain devenait voisine du rouge sombre, ce qui accusait une température de 700° à peine.

M. Minet a fait à l'Académie des sciences plusieurs communications sur l'électrolyse par fusion ignée, notamment en ce qui concerne les densités de courant dans la cathode. Dans la dernière, qui date du commencement de cette année, il déclare se servir de la cuve elle-même garnie de charbon aggloméré, comme cathode.

Le métal vient se déposer au fond de la cuve au fur et à mesure de sa formation et il est recueilli en enlevant le bouchon B, comme le montre le croquis ci-contre, toutes les vingt-quatre heures.



Croquis n° 3.

La durée de ces appareils est d'environ vingt à trente jours et la moyenne des points d'expérience relevés sont les suivants :

Densité du courant (intensité par centimètre carré) au pôle positif $\delta = 0{,}75$ amp., au pôle négatif $\delta = 0{,}5$ amp. Température $t = 920°$.

Durée de l'expérience. . .	θ	$= 22$ h.
Intensité.	I	$= 1\,500$ ampères
Quantité d'électricité . . .	$(I\theta)$	$= 330$ ampères-heures
Poids théorique.	P	$= I\theta \times 0{,}34$ gr. $= 11\,220$ gr.
Poids obtenu	p	$= 6\,500$ grammes
Rendement du système en fonction de la quantité d'électricité	$\frac{p}{P}$	$= 58\ 0/0$
Force électromotrice minima	E	$= 2$ volts
Résistance de l'électrolyte.	ρ	$= 0\omega{,}0017$
Différence de potentiel aux électrodes	e	$= E + \rho I = 4{,}55$ volts

Énergie électrique exprimée
en chevaux-vapeur . . . $W = \frac{e\,I}{736} = 9{,}27$ ch.

Quantité totale d'énergie dépensée en chevaux-heures . . . . . $W\theta = 204$ ch.-h.

Poids du métal produit pour une dépense d'énergie électrique, dans l'électrolyte correspondant à un cheval-heure . . . . . 31,9 gr.

Quantité d'énergie dépensée en chevaux-heures, dans l'électrolyte, pour la production de 1 *kg.* d'aluminium . . . . . 31,3 ch.-h.

C'est le rendement le plus élevé que l'on ait obtenu jusqu'aujourd'hui. Le rendement pratique n'est que 70 0/0 de la théorie, mais on peut s'expliquer ces pertes d'après M. Hampe, en considérant l'attaque probable du fluorure en fusion par l'aluminium ; il se forme alors un sous-fluorure d'aluminium dans le bain.

Pour terminer, nous ferons remarquer la simplicité de ce procédé, n'exigeant presque rien au point de vue matériel et surveillance à lui accorder.

Procédés **Héroult.** — M. Héroult a fait subir à ses procédés des perfectionnements successifs ; nous allons les étudier rapidement, avant d'examiner le procédé définitif employé à Froges (Isère) par la Société électro-métallurgique française.

Ses recherches ont surtout porté sur la fabrication des alliages d'aluminium, et nous avons étudié le premier procédé employé à Lauffen, dans le chapitre précédent. Plus tard, probablement après une série d'essais, M. Héroult modifia sa méthode, en vue d'obtenir de l'aluminium pur.

Dans ses brevets, Héroult estime qu'il décompose l'alumine dissoute dans un fondant. Ce fondant est le même que celui du procédé chimique de Salindres : c'est la cryolithe.

Comme nous l'avons fait remarquer au début de cette étude, le travail nécessaire à la décomposition par le courant de l'alumin eseule est très considérable, et M. Héroult, lorsqu'il alimentait son bain rien qu'avec de l'alumine, sans jamais y ajouter de fluorure double, devait constater que son bain perdait rapidement sa fluidité et que la différence de potentiel entre les électrodes atteignait de 16 à 20 volts.

On s'aperçut rapidement de ces inconvénients et on alimenta

dans la suite le bain en ajoutant à l'alumine une certaine quantité de fluorure. Or, nous avons démontré que, dans ce cas, le fluorure ne sert plus uniquement de fondant, mais qu'il est le véritable électrolyte, et que le bain se régénère par l'alumine que l'on ajoute comme dans le procédé Minet. La conséquence de cette modification est l'abaissement du point de fusion de la matière traitée et une force électromotrice de décomposition trois fois moins considérable que pour l'alumine seule.

A Froges (Isère), on a appliqué ce mode d'électrolyse de la cryolithe, avec régénération du bain au moyen de l'alumine, en se servant de cuves disposées comme il suit :

Ce sont des sortes de bassines en fonte, garnies de charbon aggloméré à l'intérieur et dont le fond repose sur trois galets, qui permettent de les faire tourner à volonté *(fig. 23)*.

On les adosse à des potences en fer supportant le bloc de charbon qui sert d'anode A et vient plonger dans l'intérieur de la cuve C. Le support de l'anode est muni d'un appareil à vis V qui permet de faire pénétrer plus ou moins le charbon dans l'intérieur de la cuve.

La cathode est formée par l'ensemble de la cuve entière, et la sortie du courant s'effectue par l'appendice D venue de fonte sur le fond de la cuve et plongeant dans un godet à mercure M, mis en communication avec le pôle négatif de la dynamo.

Pour commencer une opération, on approche le plus possible, au moyen de la vis V l'anode du fond de la cuve formant cathode, on remplit ensuite l'appareil d'un mélange de cryolithe et d'alumine, et l'on fait passer le courant.

La chaleur dégagée par l'effet Joule met rapidement en fusion la matière qui s'électrolyse au fur et à mesure, et on éloigne alors un peu les électrodes de manière à laisser une croûte solide d'alumine et de fluorure le long des parois de la cuve. On opère ainsi l'électrolyse au sein d'une masse de cryolithe et d'alumine, et il est à présumer que cet artifice n'est pas étranger à la pureté du métal obtenu.

D'après M. Héroult la différence de potentiel entre l'anode et la cathode serait de 7 volts 5 environ, et le poids de métal obtenu serait de 16 *g* au cheval-heure.

L'installation hydraulique de Froges est un modèle du genre. La force motrice est fournie par des turbines actionnant directement des dynamos du système Brown, sur le circuit extérieur desquelles on met plusieurs cuves en tension.

Il est juste de reconnaître que M. Héroult, avec la collaboration de M. Kiliani, a fait faire un pas considérable à l'industrie de l'aluminium, tant en France qu'à l'étranger, et nous sommes heureux de lui rendre cet hommage.

Procédé **Bull.** — Le principe fondamental de ce procédé est tout différent des deux précédents. Dans des creusets en plombagine A B (*figures 24* et *24*$^{a\ b\ c\ d\ e\ f\ g\ h}$), chauffés par un four à gaz et groupés par paires on place : dans le creuset A du sel marin ou du chlorure de potassium que l'on maintient en fusion; dans le creuset B du chlorure d'aluminium que l'on volatilise.

Le creuset A est le siège des actions électrolytiques. Il forme lui-même anode et est traversé par des crayons en plombagine E E qui constituent la cathode (*fig. 24*).

La marche de l'opération s'effectue ainsi :

Sous l'action du courant il se forme dans le creuset A du sodium, sur lequel on fait arriver des vapeurs de chlorure d'aluminium produite dans le creuset B. Il se produit une réaction assez violente et l'aluminium tombe au fond de A sur un lit d'alumine pure *a'* qui l'empêche d'être attaqué par le chlore dont le dégagement ne commence qu'au-dessus et où il est recueilli tous les quatre ou cinq jours de la façon que nous indiquerons tout à l'heure.

Le chlore dégagé le long des parois du creuset A par l'électrolyse du chlorure de sodium est évacué par l'espace annulaire *a* et un coude F qui l'amène à la conduite générale K dans laquelle un jet de vapeur maintient la circulation.

Afin d'entraîner les vapeurs de chlorure d'aluminium et faciliter leur réduction, on lance au moyen de l'ajutage H (*fig. 24*) un jet d'hydrogène produit par la décomposition de la vapeur d'eau passant sur une partie du sodium de A. On conduit à cet effet l'opération de façon qu'il se produise dans le creuset A du sodium en excès sur la quantité nécessaire pour décomposer le chlorure de B. Ces vapeurs de sodium sont amenées par G en I, où elles se condensent.

La manipulation des creusets A s'opère au moyen du mécanisme représenté (*fig. 24*^{d}), qui est porté tout le long du four par un chemin roulant N. On saisit le haut du creuset par la pince m^2 serrée par la vis *n n'*, puis on le remonte par la corde *o* jusqu'à ce que le taquet *p* vienne déclencher automatiquement le loquet *p'*;

le support M' étant détaché de M bascule alors autour de M^3 avec le creuset dans la position figurée en pointillés

Le chargement des creusets B s'effectue au moyen d'une double trémie P^1 P^2 *(fig. 24[d])* qui se déplace également sur un rail.

On voit sur les figures 24 et 24[a] comment le tube F et ses annexes serrés sur les couvercles des creusets A par les vis de pression *f* peuvent être facilement enlevés en faisant basculer les arceaux f^1 autour des charnières f^2.

Le four I., à régénérateur *j (fig. 24[b] et 24[c])*, est divisé par une cloison *j'* en deux parties : une pour les creusets A et une pour les creusets B qui exigent des températures différentes et des régimes indépendants.

Les figures 24[e] à 24[h] représentent un appareil Bull disposé dans le cas où l'on ferait arriver le chlorure d'aluminium gazeux préparé à part directement au creuset A sans employer les creusets de distillation B. Les fours portent alors à leur extrémité de grandes cornues R d'où le chlorure d'aluminium formé par le passage du chlore à travers un mélange d'alumine et de charbon se rend aux creusets électrolytiques A par les tuyaux F et les couvercles creux E^1.

Une circulation d'eau est établie en S à la partie supérieure des creusets afin de les rafraîchir légèrement.

Procédé **Hall**. — Le procédé électrolytique de Hall, employé par la Pittsburg Reduction C[y] en Amérique et par les Usines de Patricroft, près Manchester, en Angleterre, se rapproche beaucoup du procédé Minet.

On mélange du fluorure d'aluminium à du fluorure de calcium, dans la proportion de 169 à 78 en poids. Ils s'unissent pour former un fluorure double d'aluminium et de calcium, plus fusible que ses constituants, de formule $Al^2Ca\,Fl^8$.

On obtient le fluorure d'aluminium en traitant l'alumine hydratée par un excès d'acide chlorhydrique. On emploie aussi, comme bain de fusion, un fluorure triple d'aluminium de sodium et de calcium, obtenu par la fusion de 420 parties de cryolithe, 234 parties de fluorure de calcium, et 507 parties de fluorure d'aluminium en poids ; mais les proportions de ce bain peuvent varier sensiblement, sans en changer l'efficacité.

Le creuset dans lequel s'opère l'électrolyse est chauffé extérieurement et est garni à l'intérieur d'une couche de charbon aggloméré.

On peut se servir de ce garnissage de la cuve comme cathode. L'anode occupe alors le milieu du creuset. La densité du bain traité étant supérieure à celle de l'aluminium, celui-ci tend à flotter à la surface, et, par conséquent, à s'oxyder au contact de l'air ou de l'électrode positive. On a commencé par éviter cet inconvénient en munissant, pour la réduction de l'aluminium pur, le creuset d'un couvercle qui laisse passer les tiges des électrodes *p* et *n* (*fig. 25*), percé d'un trou pour l'échappement des gaz et pourvu d'une cloison en charbon séparant les électrodes. L'alumine se réduit à mesure qu'il monte du côté de l'électrode négative seule, d'où on l'enlève de temps en temps après avoir retiré le couvercle.

Actuellement, nous croyons que l'on a renoncé à cette disposition, et que l'on abaisse la densité du bain au-dessous de celle de l'aluminium, en y ajoutant 66 0/0 de fluorure de lithium ou de potassium. Ce bain épaissit peu à peu et sa résistance augmente, mais on évite en partie cet engorgement par l'addition de 3 à 4 0/0 de chlorure de calcium, que l'on renouvelle très souvent à cause de sa volatilité.

Dans tous ces bains, la différence de potentiel entre les électrodes est d'environ 7 à 8 volts et l'alimentation est opérée au moyen, soit d'un oxyfluorure, ou simplement de l'alumine.

Procédé **Diehl.** — M. Diehl commence par constituer un bain (*fig. 26*) électrolysable par la fusion d'un mélange d'alun, de fluorure de sodium, de chlorure de calcium ou de magnésium et de sulfate de soude en quantité suffisante pour former par double décomposition du fluorure double d'aluminium et de sodium et des sulfates de soude et de potasse, que l'on sépare par lavage. On fond ensuite ce fluorure avec du chlorure de sodium et du spath fluor, et l'on soumet la masse fondue à l'électrolyse. L'aluminium se précipite au pôle négatif, et le chlore se dégage au pôle positif, en même temps qu'il se forme dans la masse un peu de fluorure de sodium, suivant la réaction

$$Al^2 Fl^6 Na Fl + 6 Na Cl = Al^2 + 7 Na Fl + 6 Cl.$$

La fusion de ce fluorure avec de l'alun donne du fluorure double d'aluminium et de sodium, que l'on traite par l'électrolyse comme précédemment.

La figure représente le creuset employé de préférence par M. Diehl. L'électrode positive F, en carbone, est séparée par une cloison C de l'électrode négative G, aussi en carbone, si l'on veut

préparer de l'aluminium pur; en cuivre, en plomb ou en fer, si l'on veut un alliage. Le plomb forme un alliage à 75 0/0 d'aluminium; il se sépare par sa légèreté quand on fond la masse de plomb, que l'on peut employer de nouveau. Avec le fer ou le cuivre, il se forme une masse riche en aluminium (900/0) fusible, et qui se liquate en un alliage cristallisé peu fusible, presque pur. L'alliage pauvre est, à son tour, employé comme électrode.

Procédé **Daniel.** — Ce procédé est un perfectionnement de la méthode électrolytique de Sainte-Claire-Deville, disposé de manière à la rendre continue par une régénération du chlorure double d'aluminium et de sodium. Ce chlorure est maintenu fondu dans une auge en fer B (*fig.* 27 *et* 27$^{a\,b}$), chauffée par une flamme de gaz A, et sur laquelle sont branchées une série de cases où sont plongées les anodes de carbone F et les cathodes métalliques H, autant que possible en aluminium.

Ces cathodes entourent les cylindres de porcelaine G, disposés autour des anodes F.

Pendant l'électrolyse, l'aluminium se dépose sur les cathodes H, le chlorure d'aluminium et le chlore se dégagent par les branchements G et les tuyaux J, au bas de la colonne D'. Cette colonne porte une série d'auges *t*, remplies d'un mélange d'alumine et de carbone séchés, aggloméré en boule de 50 *mm* environ de diamètre. Le chlore, en traversant les colonnes D_1 C_1, forme avec l'alumine du chlorure d'aluminium, qui retourne par C_2 au bain B, pour y reformer le chlorure double d'aluminium et de sodium. La troisième colonne E_1 ne sert qu'à sécher l'alumine et le charbon destiné aux deux premières colonnes D_1 et C_1. Les gaz qui s'échappent de ces deux colonnes passent, avant d'arriver en B, au travers du condenseur L. Le tirage au foyer A est assuré par un éjecteur à vapeur E_2, qui oblige les gaz brûlés à passer autour des colonnes D_1 E_1 C_1. Enfin, une hélice *b* agite constamment le chlorure double dans l'auge B, pendant son électrolyse.

Procédé **Nahnsen.** — M. Nahnsen attribue la plupart des insuccès qui caractérisent en général les procédés d'électrolyse de l'aluminium par voie humide à ce que l'aluminium à l'état naissant décompose très activement l'eau aux températures de ces électrolyses. D'après M. Nahnsen, cette décomposition cesserait de se produire au-dessous de 4°, et l'on obtiendrait réellement de l'aluminium en opérant à cette température.

La caractéristique du procédé de M. Nahnsen consiste donc à

refroidir le bain électrolysé, principalement aux environs de l'électrode négative. Ce refroidissement peut s'opérer, par exemple, au moyen d'un serpentin à circulation d'eau glacée. Il conseille en outre l'emploi de dissolutions très concentrées et uniformisées par agitation pendant l'électrolyse.

Procédé **Roger.** — D'après le journal *la Métallurgie*, du 18 mars 1890, M. Roger aurait été conduit, au cours de ses recherches sur la fabrication de l'aluminium, à mélanger au sel d'aluminium un alliage de plomb et de sodium :

« Cette modification du procédé ordinaire augmente, paraît-il, le rendement dans une grande proportion.

» L'alliage de plomb et de sodium est obtenu par l'électrolyse d'un bain de sel marin en fusion, en prenant comme cathode une lame de plomb.

» Dans l'une des premières expériences, un courant de 80 ampères et 24 volts traverserait quatre creusets montés en série et renfermant chacun un mélange d'une partie de cryolithe (fluorure double d'aluminium et de sodium), trois parties de sel marin et 27 *g* de plomb. Après six heures de traitement, on recueillait 15 *g* d'aluminium, tandis qu'il restait au fond des creusets une assez forte quantité de sodium fondu avec de la cryolithe.

» D'après M. Roger, le procédé peut donner environ 500 *g* d'aluminium par cheval et par vingt-quatre heures, soit environ 80 0/0 du rendement théorique. »

Procédé **Falk et Schaag.** — Au sujet de ce procédé, nous empruntons la description suivante au *Génie civil* du 3 août 1889 :

« Dans le procédé récemment breveté par MM. Falk et Schaag, on électrolyse une solution alcaline saturée d'un sel d'aluminium en présence d'un acide organique non volatil, en employant comme anode le métal à allier à l'aluminium. L'électrolyte peut être additionné du cyanure de ce métal.

» Voici, d'après leur brevet, la préparation d'un alliage cuivre-aluminium :

» Pour obtenir une solution aussi concentrée que possible d'oxyde d'aluminium dans l'alcali, on dissout de l'hydrate d'alumine dans un acide quelconque, sulfurique, chlorhydrique, acétique, oxalique, citrique ou tartrique, et on charge le bain en y faisant dissoudre encore de l'aluminium métallique jusqu'à refus, avec ou sans l'intervention du courant électrique.

» A cette dissolution on ajoute, si on n'en a pas fait usage déjà,

de l'acide citrique ou tartrique, dans le but d'empêcher la précipitation de l'alumine par l'alcali.

» Pour neutraliser, on prend un hydrate au carbonate alcalin, potasse, soude ou ammoniaque, et on augmente la conductibilité du bain en ajoutant encore un nitrate, phosphate ou borate alcalin.

» D'un autre côté, on dissout jusqu'à refus un sel de cuivre, tel que sulfate, nitrate, chlorure, acétate, sous-carbonate, carbonate, oxyde, cyanure, etc., dans une solution concentrée de cyanure de potassium ou de sodium, alcalinisée par l'ammoniaque ou un carbonate alcalin.

» La solution alcaline de cuivre est mélangée avec le double de son poids environ de la liqueur aluminique ci-dessus, et, pour 100 *l* de ce mélange, on ajoute encore 1 *kg* environ de nitrate ou de phosphate de potassium, de sodium ou d'ammonium.

» En soumettant cette liqueur à l'électrolyse, avec une anode en cuivre, on obtient un alliage d'aluminium et de cuivre, dont la couleur fonce de plus en plus, au fur et à mesure que le dépôt s'enrichit de ce dernier métal. Afin d'obtenir un alliage en proportions à peu près constantes, lorsque l'on reconnaît à la coloration du dépôt que le point convenable est atteint, il faut éloigner l'anode de cuivre, ou mieux, affaiblir et régler son action. Dans ce but, on isole l'anode au moyen d'une cloison poreuse, qui plonge dans le bain. L'intervalle entre la plaque de cuivre et les parois doit, naturellement, être rempli avec un liquide conducteur, soit avec le bain lui-même, soit avec la solution de cyanure de cuivre.

» On arrive, de cette manière, à ne dissoudre le cuivre dans le bain, par diffusion à travers la cloison poreuse, que juste autant qu'il en faut pour maintenir la composition de l'électrolyte à régler, par suite, les proportions de l'alliage qui se sépare.

» Afin d'atteindre le même résultat, quant à la proportion d'aluminium, on ajoute de temps à autre une quantité convenable d'un sel d'aluminium.

» On peut se dispenser d'ajouter au bain d'aluminium un sel cuivrique et se contenter d'apporter ce métal comme tel sous forme d'anode. Dans ce cas, il est nécessaire d'ajouter, à la solution d'alumine préparée comme ci-dessus, un excès d'alcali caustique ou carbonate ; mais alors il faut employer une paroi poreuse pour séparer l'anode formée par le métal qui doit se déposer allié à l'aluminium, d'avec la portion principale de l'électrolyte. »

Procédé **Douglas-Dixon.** — L'appareil proposé récemment par M. Douglas-Dixon pour la réduction électrolytique ignée de l'aluminium et des autres métaux alcalins se compose essentiellement (*fig. 28 et 28$^{a\,b\,c}$*) d'un creuset en plombagine A, chauffé par une grille, et surmonté d'une sorte de cornue B, que traverse l'électrode positive ou anode, tandis que le creuset lui-même constitue l'électrode négative. La cornue renferme un mélange de charbon, d'alumine et de chlorure de sodium ; elle communique par le haut avec un condenseur recevant l'oxyde de carbone et les chlorures volatiles qui se dégagent des réactions. L'électrode positive pénètre dans le creuset par une gaine poreuse C, percée de trous et fermée au bas pour empêcher que l'élément négatif du bain ne se dégage immédiatement au-dessous de l'anode. Les gaz s'échappent du creuset dans la cornue par les trous *m*, percés dans son couvercle.

Pour la fabrication de l'aluminium, on introduit dans le creuset un mélange de — en poids :

35 de chlorure de magnésium,
25 — potassium,
40 — sodium,

avec 3 à 5 0/0 de florure d'aluminium ou de sodium. La cornue renferme un mélange intime de chlorure de sodium, de carbone et d'alumine, d'après M. Dixon. On chauffe le creuset à 800° environ pour maintenir son mélange en fusion, et on fait passer le courant sans guère dépasser 6 à 8 volts.

Le chlorure de magnésium se décompose en magnésium qui monte à la surface du bain et en chlore qui s'échappe par les ouvertures *m* au travers de la cornue, en y formant un chlorure double d'aluminium et de sodium, suivant la formule :

$$Al^2O^3 + 3C + 2NaCl = A^2Cl^62NCl + 3CO.$$

La température de la cornue est assez élevée pour fondre ce chlorure, mais sans le volatiliser, de sorte qu'il tombe dans le bain en fusion du creuset, où il se réduit selon la formule :

$$Al^2Cl^6 + 2NaCl + 3Mg = 2Al + 3MgCl + 2NaCl$$

en reproduisant le chlorure de sodium.

Dans la variante représentée par la figure 28^a, on emploie une électrode négative indépendante *a*, et la cornue placée latéralement au creuset, lui est reliée par un tuyau *a'*. On la charge avec un mélange préparé pour donner naissance à du chlorure d'alumi-

nium Al^2Cl^6, qui se volatilise et se précipite en poudre dans le condenseur 15, d'où il tombe, puis se réduit sur le bain du creuset.

Dans la figure 28ᵇ, le mélange d'alumine et de charbon n'est séparé du bain réducteur que par une cloison poreuse *m*, de sorte que le chlorure d'aluminium formé par le dégagement du chlore à l'anode va se réduire directement au creuset.

L'appareil représenté figure 28ᶜ permet de réduire l'alumine par une méthode différente des précédentes. Le creuset A renferme un bain fondu de 95 parties de chlorure de magnésium pour 75 de chlorure de potassium, avec 6 à 7 0/0 d'un fluorure comme fondant; la cornue B renferme de l'alumine. Le magnésium dégagé au creuset cathode A réduit, d'après la formule

$$3Mg + Al^2O^3 = Al^3 + 3MgO,$$

l'aluminium, qui tombe au fond de la cornue B, tandis que la magnésie MgO reforme au creuset A le chlorure de magnésium, d'après la formule

$$3MgO + 6Cl = 3MgCl^2 + 3O.$$

Les réactions se produisent dans le bain d'une manière continue. La tension du courant doit être, bien entendu, assez basse pour ne jamais décomposer le chlorure de potassium.

Procédé **Berg**. — Le procédé, récemment breveté par M. Berg, consiste essentiellement à soumettre à l'électrolyse d'un courant de faible tension un mélange de minerai d'aluminium — cryolithe ou bauxite, par exemple — de charbon, de nitrate ou de sulfure alcalin. Ce mélange, finement pulvérisé, est soumis, dans un creuset de plombagine, entre deux électrodes de carbone, à un courant de 20 à 50 volts et de 1 000 à 10 000 ampères.

Les nitrates ou sulfures alcalins auraient pour effet de séparer de l'aluminium réduit par le carbone les impuretés — silicium, fer, etc., — amenées par les gangues du minerai ou par les matières du creuset, sans toucher à l'aluminium moins oxydable. Ces impuretés se séparent ainsi, dans la scorie, de l'aluminium, qui reste presque pur.

On peut, comme mélange, prendre par exemple en poids :

90 de cryolithe;
5 de charbon de cornue;
5 de bauxite;
2 de nitrate ou sulfure de sodium.

La masse se liquéfie rapidement au passage du courant, puis on ajoute peu à peu, par petites fractions, toutes les cinq à six minutes, de la bauxite, jusqu'à en parfaire 100 parties. Une fois l'opération bien en train, c'est-à-dire dès que le bain est parfaitement fluide et incandescent, on ajoute 2 parties de nitrate de potasse ou de soude ; on coule cinq ou six minutes après l'aluminium pur.

Après cette coulée, on introduit de nouveau dans le creuset ou dans la chambre de graphite, comme précédemment, 100 parties de bauxite et 2 parties de nitrate, et l'on procède à une nouvelle fusion : la cryolithe reste, aux pertes près, toujours la même.

Toute la caractéristique du procédé se résume, en apparence, à l'addition directe de nitrates alcalins, qui permettraient, d'après M. Berg, d'obtenir facilement de l'aluminium pur avec des minerais relativement impurs et moins rares.

Procédé **Felt.** — M. Felt a proposé, pour la précipitation électrolytique de l'aluminium, l'appareil représenté par les figures 29. L'électrode négative, en cuivre, est constituée par une sorte de croisillon E, forcé dans le bas de la pile et surmonté de toiles métalliques en cuivre G. L'électrode positive, placée en haut de l'appareil, est constituée par une sorte de grille circulaire en zinc R, avec canaux de mercure C, ce qui suffit pour l'amalgamer. La partie intermédiaire de l'appareil est séparée du haut par un diaphragme en papier parcheminé H, traversé par un tube K permettant le dégagement des gaz de l'électrolyse. Le liquide employé est de l'acide sulfurique étendu, additionné d'un peu de nitrate de mercure dissous dans cent fois son poids d'eau, et revivifié sans cesse par du mercure disposé dans une terrine percée O.

Le minerai d'aluminium — une argile pure, par exemple, — se place en P, sur les toiles métalliques. D'après M. Felt, cette argile se décompose en silice qui se précipite au fond de l'appareil, au travers des toiles métalliques, et en aluminium qui se dépose sur ces toiles, mais pas sur le reste de la cathode E. Pour obtenir de l'aluminium pur, on vernit l'une des faces des toiles G de manière que l'aluminium ne se dépose que sur l'autre face, et qu'il suffise de dissoudre le cuivre par un acide.

Procédé **Wohle.** — Ce procédé a été décrit de la manière suivante dans le journal *la Métallurgie* du 5 février 1891 :

« D'après M. Wohle, le liquide pour bain électrolytique est préparé comme il suit : en faisant d'abord dissoudre 2 *kg* d'alun

dans 3 *l* d'eau chaude, et d'autre part en faisant, à quantités égales, une deuxième solution de carbonate de potasse, additionnée de 8 à 10 *g* d'ammoniaque.

» Ces deux solutions, étant ensuite mélangées, produisent une effervescence d'abord, puis un précipité. Ce dernier est séparé, lavé soigneusement à l'eau et mis en réserve.

» Une troisième solution est préparée ensuite avec 4 *kg* d'alun dans 10 *l* d'eau chaude, avec addition de 2 *kg* de cyanure de potassium pur, à l'état solide.

» Cette solution est versée sur le précipité mis en réserve, et le tout porté à ébullition. Après avoir maintenu l'ébullition pendant une demi-heure, la solution est augmentée de 10 *l* d'eau et de 2 *kg* de cyanure de potassium, puis portée de nouveau à ébullition pendant un quart d'heure : il ne reste plus ensuite qu'à filtrer, afin de recueillir le précipité, dès lors prêt à être employé pour la composition du bain électrolytique.

» Dans un bain composé ainsi que nous venons de l'indiquer, les anodes sont des plaques perforées en aluminium, disposées de manière à pouvoir être facilement soulevées et abaissées.

» Anodes et cathodes sont reliées avec les bornes d'une batterie ou d'une machine dynamo, par le courant établi et le bain entier chauffé à 150° Fahrenheit.

» En attachant aux anodes des pièces d'autres métaux, par exemple d'or, d'argent, etc., la couleur du métal déposé se trouve diversement modifiée.

» Si l'aluminium est obtenu avec sa couleur grise naturelle, l'objet peut être rendu brillant par une simple immersion dans une solution de soude caustique, solution qui, non seulement donne ce brillant, mais encore prévient l'oxydation. »

Procédé **Gretzel.** — M. Gretzel emploie, pour traiter les sels d'aluminium, un appareil semblable à celui que nous avons décrit précédemment pour l'extraction du magnésium.

Procédé **Kleiner.** — M. Kleiner est un des premiers qui ait essayé l'électrolyse de la cryolithe. Dans son procédé, la cryolithe est réduite en poudre et mise au fond d'un creuset. On approche d'une façon convenable deux électrodes, de manière à produire un arc au sein de la masse à traiter, et c'est sous l'action de la chaleur dégagée par cet arc que la matière entre en fusion et se décompose.

Il fut question dans un temps d'une grande application de ce

procédé à Wolverhampton, mais nous ne saurions dire quel a été le résultat de cette entreprise.

Procédé **Burghart et Twining.** — Le bain à électrolyser est ainsi préparé :

On forme un précipité d'alumine en traitant une dissolution de sulfate d'alumine par un excès d'une dissolution ammoniacale ou de soude caustique.

Cette alumine bien lavée est dissoute dans une dissolution de soude caustique. On fait bouillir l'aluminate de soude ainsi produit avec du cyanure de potassium d'abord, puis avec du bicarbonate de soude pendant douze heures ; on ajoute enfin une petite quantité d'acide cyanhydrique, et le bain est prêt à être électrolysé à une température de 75° environ.

Procédé **Kiliani.** — M. Kiliani a remarqué que, dans la fusion ignée d'un électrolyte chauffé par le courant seul, la région active est limitée à l'espace compris entre les électrodes, à moins qu'on ne leur donne une chaleur excessive nuisible à leur conservation et aussi à l'économie de l'électrolyse, parce que les éléments dissociés à une température trop élevée se recombinent en partie dans la masse du bain fondu. Il faut donc opérer avec une température de l'électrolyte aussi basse que possible ; mais on risque alors de voir se former à la surface du bain une croûte solide qui empêche la continuité de l'opération.

Afin de remédier à cet inconvénient, M. Kiliani imprime aux électrodes un mouvement continuel de va-et-vient et de rotation dans le bain en fusion, qui se trouve ainsi toujours dégagé.

C'est ainsi que, avec le dispositif représenté par la figure 30, l'électrode positive prismatique *e* reçoit du train *lik* un lent mouvement de rotation dans le bain *b*, dont le récipient fixe constitue l'électrode négative, et l'on peut en même temps faire monter et descendre l'électrode *e* dans le bain par la manette h_2 et le train ($h^1 h\, gf$). Une seconde manette *a* permet de débrayer à volonté la poulie *l* qui commande le mouvement de rotation.

L'électrode positive est en lames de poussier de charbon de cornue aggloméré avec 25 à 30 0/0 de goudron séché lentement pendant quatre jours dans une étuve à 150°. L'électrode négative en cuivre débouche au fond de la cuve *b*, sous une couche de graphite aggloméré. On verse dans le bain d'abord de la cryolithe en poudre, graduellement à mesure qu'elle se fond, puis de l'alumine pure. Après vingt-quatre heures environ, on obtient,

avec une cuve de 0,60 *m* de diamètre sur autant de profondeur, une vingtaine de kilogrammes d'aluminium. La tension du courant varie de 20 à 25 volts. Le rendement en aluminium oscille aux environs de 20 *g* par cheval-heure aux génératrices, et le charbon positif s'use d'environ 1 *kg* par heure, ou de 1,5 à 2 *kg* par kilogramme d'aluminium produit.

Procédé **Montgelas.** — Le procédé du comte de *Montgelas* consiste à préparer, par l'électrolyse d'abord, une dissolution de chlorure double d'aluminium et de sodium, dont il extrait ensuite l'aluminium également par l'électrolyse.

Le chlorure double d'aluminium et de sodium se prépare en traitant dans un vase d'électrolyse A deux solutions concentrées, l'une D de chlorure d'aluminium, et l'autre C de sel marin, séparées par une cloison poreuse B. L'anode E est en aluminium et la cathode F en cuivre. La réaction est terminée quand la dissolution D a entièrement perdu sa coloration jaune (*fig. 34ª*).

Pour en extraire l'aluminium, on traite le chlorure double, d'abord évaporé à sec pour le rendre aussi neutre que possible, puis dissous dans l'eau chaude au moyen d'un second appareil électrolytique A′ (*fig. 34*). Le chlorure double est en D′ séparé par une cloison poreuse B′ d'un mélange de sel marin et de chlorure double d'aluminium et de sodium fondus en proportions égales et brisés en morceaux, au milieu desquels plonge l'anode en charbon G.

L'électrolyse fonctionne d'une façon continue pourvu que l'on renouvelle à mesure les morceaux du sel en M, de façon à maintenir invariable la composition du bain électrolytique.

Dès que la cathode en cuivre F est recouverte d'une couche d'aluminium assez épaisse, on en détache cet aluminium, puis on le fond dans un creuset avec du chlorure de potassium en une masse métallique. On peut aussi employer comme cathode une plaque d'aluminium, que l'on fond alors avec l'aluminium électrolysé, sans avoir la peine de l'en séparer.

M. de Montgelas remplace quelquefois le mélange des sels M et l'anode G par une plaque composée en agglomérant par pression, à une température de 100° environ, un mélange de :

50 0/0 de chlorure double d'aluminium et de sodium ;
25 0/0 de sel marin ;
25 0/0 de poussier de coke ;

avec une proportion de goudron suffisante pour l'agglutination.

Procédé **Omlot, Bottiger et Seidler.** — Cette méthode, employée dans les usines de Crossnitz, se distingue par l'emploi des moufles *b c (fig. 32)* sans plancher plongeant dans le lit de fusion, et en recevant, l'un, l'électrode négative *e*, l'autre, l'électrode positive *f* également plongées dans le bain, maintenu en fusion par la chaleur du four. Le métal aluminium, qui se réduit à l'électrode négative *e* s'écoule par *hk* et les hologènes s'évacuent de la même manière autour de l'électrode positive *f* par l'ouverture *l*. Les moufles et les poches *km* sont en briques réfractaires avec garnissages en charbon et lutés à l'abri de l'air, complètement exclu des poches *km* au moyen d'un gaz neutre.

Procédé **Hampe.** — Il consiste essentiellement à électrolyser à une température de 1 000° environ un mélange de cryolithe et de sel marin. Un peu au-dessus de 1 000° le sodium se dépose au pôle négatif et l'aluminium se précipite en globules. Il nous est impossible de dire quelle est la valeur pratique de ce procédé, à cause du peu d'application dont il a été l'objet jusqu'aujourd'hui.

Propriétés de l'aluminium.

La propriété la plus remarquable de l'aluminium est sa faible densité 2,5 à 2,7.

L'aluminium en lingot rend un son cristallin très pur ; toutefois on n'est jamais parvenu à en fabriquer des cloches. Il prend, comme l'argent, un beau mat sous l'action d'une dissolution faible de soude caustique, et se polit au brunissoir.

Il est presque aussi malléable que l'or, il se bat aussi facilement que lui, et s'étire en fils d'une extrême ténuité, d'une résistance égale, après plusieurs recuits, à des fils d'argent de même section.

L'aluminium fond à 700° environ ; sa conductibilité électrique est la moitié de celle du cuivre, et sa conductibilité thermique, 0,065 de celle de l'argent. Il est peu magnétique, et possède une chaleur spécifique très élevée : 0,225. Il est attaqué par l'acide chlorhydrique et les dissolutions alcalines, sauf l'eau ammoniacale, et très peu par les acides et sels organiques.

L'aluminium se coule facilement dans des moules en sable sec, mais sa soudure est très difficile, pour ne pas dire impossible.

Ses applications à l'état pur sont très nombreuses ; il remplace l'argent dans la bijouterie et les appareils culinaires ; le laiton

dans les instruments d'optique et de précision ; le fer et l'acier dans certaines pièces d'horlogerie.

On l'allie très facilement au cuivre et au fer pour former des bronzes d'aluminium et des ferro-aluminium.

Bronzes d'aluminium.

L'alliage à 10 0/0 d'aluminium pour 90 0/0 de cuivre est le plus répandu, et paraît être celui qui donne les meilleurs résultats. Bien préparé après plusieurs fusions, il est ductile, malléable comme le fer dont il a la densité, 7,80 ; sa ténacité après le martelage, peut égaler celle de l'acier, 55 à 60 *kg* par millimètre carré ; en fils il résiste à des tensions de 85 *kg* par millimètre carré. Il se lamine facilement au rouge vif sans pouvoir toutefois être martelé.

M. André Lechatellier a fait sur des tuyaux de vapeur en bronze 10 0/0 d'aluminium des expériences très intéressantes que nous résumons ci-dessous :

	CUIVRE		BRONZE D'ALUMINIUM A 10 0/0	
TEMPÉRATURES	RÉSISTANCE à la rupture	ALLONGEMENT à la rupture (1)	RÉSISTANCE à la rupture	ALLONGEMENT à la rupture
15°	25,2 par mm^2	30 0/0	53,2	19
100	22,9 —	30 —	52,4	22
150	20 —	30 —	51	21
200	16,9 —	30 —	49,2	22
250	14 —	29 —	47	21
300	12,7 —	20 —	44,2	19
350	9,4 —	15 —	37	15
400	7 —	10 —	23,2	21
460	3,6 —		10	23

On voit, d'après ce tableau, qu'à 150°, correspondant à une pression de vapeur de cinq atmosphères, la résistance du bronze d'aluminium n'a presque pas baissé, et est plus du double de celle du cuivre ; à 200° (15 atmosphères) la résistance du cuivre a baissé de plus d'un tiers, celle du bronze de 8 0/0 seulement.

Les gros tuyaux en cuivre des machines marines ne périssent donc pas seulement par leurs soudures, mais aussi par la faiblesse même du métal entre 150 et 200° ; et il y aurait grand intérêt à pouvoir les remplacer par des tubes en bronze d'aluminium

(1) Sur 150 *mm*.

laminés sans soudures, par le procédé Mannessmann par exemple.

De même, une addition de 2 à 8 0/0 de cuivre augmente beaucoup la résistance de l'aluminium, comme l'ont démontré les essais récemment exécutés à Chalais par le service de l'artillerie, et dont les principaux résultats sont résumés au tableau ci-dessous:

BRONZE		DENSITÉ		RÉSISTANCE en kilog. par mm^2
Al	Cu	CALCULÉE	RÉELLE	
»	»	»	2,67	18,7
98 0/0. .	2	2,78	2,71	30,7
96 0/0. .	4	2,90	2.77	31,1
94 0/0. .	6	3,02	2.82	38.6
92 0/0. .	8	3.14	2.86	35.5

Ainsi, l'addition de 2 0/0 de cuivre suffit pour presque doubler la résistance de l'aluminium sans augmenter notablement sa densité. A 6 0/0 de cuivre, la résistance est plus que doublée. La densité de l'alliage n'augmente que de 0,05 0/0 par chaque 2 0/0 de cuivre, au lieu des 0,12 0/0 calculés par la formule des mélanges. Ces essais très intéressants démontrent en somme la possibilité de réaliser par une addition de 6 0/0 de cuivre un alliage deux fois plus résistant que l'aluminium et plus lourd seulement d'un vingtième.

Le bronze 5 0/0 d'alumine est plus tendre que le bronze 10 0/0, mais il est plus malléable et se ternit plus facilement.

Le bronze 2 0/0 donne de très beaux moulages et se travaille facilement au burin et au ciseau.

Au delà de 10 0/0 d'aluminium les bronzes deviennent très durs, friables, cassants, inutilisables en pratique.

Tout récemment, M. Cowles a annoncé la production d'une série d'alliages d'aluminium dont les principales propriétés sont résumées dans le tableau suivant :

COMPOSITION DES ALLIAGES	LIMITE D'ÉLASTICITÉ par mm^2	ALLONGEMENT PAR UNITÉ de longueur	CHARGE DE RUPTURE à la traction par mm^2
Bronze spéc. 89 Cu	»	»	80 *kg*
10 alumin. 1 Si	49	»	66,5
	56	»	76,5
	»	»	100,5
	»	»	70
	»	»	80,5
	»		84
Bronze forgé au rouge. . .	28	0,0023	57
— . . .	29	0,0026	61
Bronze coulé au sable. . .	»	»	61
Bronze forgé.	»	»	58
Bronze 91,75, Cu 7,5 Al . .	15	0,0013	63
— 0,75 Si	17	0,0018	62,5
— Coulé en coquil . .	»	»	52
	»	»	48,5
	»	»	50,5
Laiton 71,25 Cu, 3,75 Al, 25 Zn coulé en coquil. .	15	0,0018	45
Laiton 63,33 Cu, 3,33 Al, 33,33 Zn coulé en coquil.	34	0,0091	54
Coulé dans le sable. . .	»	»	64
	»	»	62,5

Ces alliages s'adaptent, suivant leur composition, à des emplois très différents.

Ferro-aluminium. — Les plus intéressants de ces alliages sont dus à M. Otsberg, de Stockholm, et connus sous le nom de fontes *mitis*.

On ajoute à du fer presque fondu dans un creuset de plombagine environ 0,05 0/0 d'aluminium qui forme aussitôt avec le fer un alliage beaucoup plus fusible. L'aluminium est ajouté au fer du creuset sous la forme d'un alliage riche de fer et de 6 à 8 0/0 d'aluminium préparé par le procédé Cowles ou par une méthode spéciale à M. Otsberg, qui consiste essentiellement à fondre un mélange de fer et d'argile.

Les alliages *mitis* sont fibreux comme le fer et plus tenaces de 30 à 50 0/0; ils peuvent remplacer avantageusement les fontes malléables.

Le ferro-aluminium possède la propriété curieuse de perdre toute propriété magnétique dès que la proportion d'aluminium dépasse 17 0/0.

Nous terminerons ici notre étude sur l'aluminium et ses procédés de fabrication. Cependant, nous ne voudrions pas clore ce chapitre sans signaler les emprunts que nous avons faits à notre savant collègue et ami, M. Gustave Richard, et sans remercier notre camarade, M. Adolphe Minet, des conseils qu'il nous a toujours prodigués dans le cours de ce travail. Nous citerons aussi MM. Éric Gérard et Gore, dont les ouvrages et les travaux nous ont aussi puissamment aidé à mener à bien ce mémoire.

TABLE DES MATIÈRES

Pages.

EXPOSÉ GÉNÉRAL 396
CREUSETS ÉLECTRIQUES ET FOURNEAUX ÉLECTRIQUES 405
Système Siemens 406
— W. Maxwell 406
— Parker 407
— Roggerson et Statter 407
— W. Cross 407
— Ferranti 408
— Colby 408

Électrolyse.

LOIS GÉNÉRALES :
De l'élément électro-négatif 409
Loi de quantité 414
Loi de Thomson 415
Loi de Sprague 416
ÉLECTRO-MÉTALLURGIE PAR VOIE HUMIDE 417
(A) *Traitement des Minerais* 419
Procédé Blas-Miest 423
— Marchèse 423
(B) *Raffinage des métaux* 426
Procédé de la Nord-Deutsche Affinerie 427
ÉLECTROLYSE PAR FUSION AQUEUSE 427

Électrolyse par fusion ignée.

ÉTUDE GÉNÉRALE DU PHÉNOMÈNE D'ÉLECTROLYSE 427
(*a*) Dimension des Électrodes (Voie humide ou sèche) 428
(*b*) Force électromotrice de décompositon 430
(*c*) Chaleur perdue 431
Résumé de tous les travaux des divers savants concernant l'électrolyse par fusion ignée 432

Procédés publiés dans la fabrication de l'aluminium.

HISTOIRE 435
MÉTHODES CHIMIQUES 436
(*a*) Essais de Deville 436
(*b*) Procédé de Javel 441
Réducteurs de l'aluminium 443
Procédé de Salindies 444
— Frismuth 446
— Webster 446
— Netto 447
— Grabau 449
— Castner 451
— White et Thomson 452
— Reillon, Montagne et Bougerel 452
— Baldwin 453
— Feldman 453
— Faurie 453
— Stéphan et Southerton 454
— Great Western Aluminium 454
— Faure 454

FABRICATION DU SODIUM :

Procédé Deville 456
— Netto 457
— Forster 458
— Thomson et White 458
— Castner 458
— Grabau 461
— Thowles 461

PROCÉDÉS THERMO-ÉLECTRIQUES ET THERMO-CHIMIQUES.

Procédé Cowles 462
— Héroult 464
— Brin 465
— Gérard Lécuyer 466
— Gerrish Farmer 466
— Pearson et Pratt 467
— Stéfanite 467
— Bessemer 468

PROCÉDÉS ÉLECTRIQUES.

Étude mathématique d'un cas particulier d'électrolyse par fusion ignée (Procédé Minet) 470
(*a*) Choix de l'électrolyte et des propriétés physiques 470
(*b*) Nature et dimensions du vase et des électrodes 473
(*c*) Phénomène de polarisation des électrodes 483
Procédé Héroult 486
— Bull 488
— Hall 489
— Diehl 490
— Daniel 491
— Nanhsen 491
— Roger 492
— Falcket-Schaag 492
— Douglas-Dixon 494
— Beng 495
— Felt 496
— Whole 496
— Gretzel 497
— Kleiner 497
— Burghart et Twining 498
— Keliani 498
— Montgelas 499
— Omhalt Bolhgert et Seidler 500
— Hampe 500

PROPRIÉTÉS DE L'ALUMINIUM :

Aluminium pur 500
Bronzes d'aluminium 501
Ferro-aluminium 503

NOTE

SUR

L'ALUMINIUM ET SES ALLIAGES

LEUR EMPLOI DANS L'INDUSTRIE

PAR

M. A. SPIRAL

Jusqu'à ces dernières années, l'aluminium était resté à un prix très élevé. Il n'était guère employé d'une manière courante que dans la fabrication des alliages pour appareils d'optique et des bronzes d'ornementation, ou bien encore en dépôts galvaniques. Ces divers emplois étaient surtout motivés par l'inaltérabilité du métal aux gaz renfermés dans l'atmosphère, propriété que possèdent aussi les alliages de l'aluminium avec le cuivre dès que la teneur en aluminium atteint 5 0/0.

Ses propriétés les plus importantes faisaient désirer que l'on puisse arriver à préparer l'aluminium à bon marché. Si, aujourd'hui, son prix n'est pas encore assez faible pour permettre son emploi industriel d'une façon courante et économique, on prévoit toutefois qu'un jour, peut-être peu éloigné, il pourra devenir un métal complètement usuel et jouant un rôle considérable dans la métallurgie.

C'est en présence de ce fait que nous avons été chargés de rechercher l'emploi qui pourrait être fait de ce métal et de ses alliages.

Nous avons dû tout d'abord, pour faire ces essais, connaître les différents procédés de fabrication de l'aluminium, ainsi que ses diverses propriétés déjà bien établies. Nous avons dû faire ces

recherches dans un grand nombre de publications et il nous a paru intéressant de les résumer dans cette note.

L'aluminium fut isolé la première fois par Wöhler, en 1827, à l'état de poudre sans éclat. Mais c'est seulement en 1854 que Sainte-Claire-Deville put le préparer industriellement. Aidé alors par Debray et Morin, il établit une première usine à Javel, puis à Nanterre, et c'est définitivement à Salindres (Gard) que fut établie une usine pour la fabrication de l'aluminium pur. Pendant trente ans, ce procédé fut le seul qui permît de produire industriellement l'aluminium métallique. Bien des méthodes furent proposées, mais ce n'était que des modifications, en général peu heureuses, du procédé Deville et qui ne donnèrent pas lieu à des fabrications durables.

Mais, depuis 1885, une série de brevets ont été pris pour l'obtention, soit de l'aluminium, soit de ses alliages, par des procédés chimiques ou par les courants électriques.

Je résumerai ici d'une façon succincte les diverses méthodes de préparation de l'aluminium ou de ses alliages, qui me paraissent devoir donner des résultats pratiques, en les faisant suivre de quelques indications sur leur emploi industriel.

Quoique l'avenir paraisse réservé surtout aux procédés électrolytiques de préparation de l'aluminium, nous avons cru devoir signaler quelques procédés chimiques, qui, au dire de leurs inventeurs, permettraient d'obtenir l'aluminium à un prix relativement bas.

Minerais d'aluminium.

L'aluminium est, de tous les métaux, celui qui paraît le plus répandu dans la nature. Il est toujours, sauf dans la cryolithe (fluorure double d'aluminium et de sodium), combiné à l'oxygène sous forme d'alumine ou de sels d'alumine. C'est ainsi qu'il est la base principale des argiles, des roches ignées. L'alumine presque pure compose le saphir, le rubis, le corindon.

Les minerais les plus employés jusqu'à ce jour sont la bauxite ou la cryolithe. Certaines méthodes nouvelles utilisent actuellement l'émeri, le corindon.

On peut aussi classer comme matières premières, d'où l'on retire l'aluminium, certains sels que l'on produit spécialement pour cet usage, tels que le chlorure d'aluminium, et, aujourd'hui, on emploie aussi le sulfate d'alumine.

Bauxite. — La bauxite est un hydrate d'alumine toujours plus ou moins mélangé de fer ; sa couleur peut varier du blanc, pour les qualités les plus pures, au rougeâtre, pour les minerais très chargés de fer.

On la trouve sous forme de masses terreuses et formant des dépôts considérables dans la localité des Baux, près d'Arles; on en a trouvé depuis dans l'Hérault et dans l'Ariège.

Elle se présente sous l'aspect de grains pisolithiques ou oolithiques, que l'on rencontre au contact des terrains triasiques et jurassiques et une nouvelle variété, connue sous le nom de wochéinite, a été découverte à Wochein (Styrie), où elle forme des couches atteignant 4 *m* d'épaisseur.

Voici deux analyses de bauxite :

N° 1. — Bauxite friable, dépôts de Villeveyrac (Hérault), par Moitessier.

N° 2. — Bauxite ferrugineuse, dépôts de Baux, par H. Sainte-Claire-Deville.

	N° 1	N° 2	
Alumine	78,10	57,6	
Sesquioxyde de fer.	1,02	25,3	
Silice.	5,78	5,9	
Eau	15,10	11,2	Carbonate de chaux et eau.

Cryolithe. — La cryolithe est aussi connue sous les noms de chodneffite et d'alumine fluatée alcaline. ($Al^4 Fl^6$, 6 Na Fl).

Les dépôts les plus importants, et seuls connus jusqu'ici, se trouvent à Mirak (Oural) et à Arkut (Groenland)

Elle se présente sous forme de grandes masses cristallines, de couleur blanche ou grise.

L'acide sulfurique la décompose avec dégagement d'acide fluorhydrique. On peut la fondre facilement au chalumeau.

Voici la composition de trois échantillons :

	(1)	(2)	(3)
Eau de cristallisation (oxyde de fer).	12,15	23,35	29,91
Fluorure d'aluminium	40,19	37,88	34,55
Fluorure de sodium	47,66	38,77	35,54

(1) Analyse faite par Berzelius.
(2) Analyse faite par Klaproth.
(3) Analyse faite par Vauquenil.

Procédés de fabrication.

Les divers procédés suivis pour produire l'aluminium ou les alliages et dont nous nous occuperons peuvent se classer en deux grandes sections :

1° Procédés chimiques;

2° Procédés électrolytiques.

Procédés chimiques.

Les procédés chimiques s'appuient sur la décomposition par le sodium des sels doubles d'aluminium et de sodium (chlorure ou fluorure).

L'opération pour obtenir l'aluminium comprend trois fabrications :

1° Production du chlorure ou du fluorure;

2° Production du sodium;

3° Production de l'aluminium.

La production du sodium peut se faire soit par des procédés chimiques (procédé Deville, modifications de Castner, de Netto), soit par l'électrolyse d'un bain de chlorure de sodium fondu (procédé Grabau).

Procédé Deville.

1° *Fabrication du chlorure double d'aluminium et de sodium.* — On emploie comme matière première la bauxite.

On traite au rouge la bauxite par du carbonate de soude. Il se forme de l'aluminate de sodium et il se dégage de l'acide carbonique

$$Al^2O^3 + 3\,Na^2\,CO^3 = Al^2O^3,\,3\,Na^2\,O + 3\,CO^2.$$

L'aluminate de sodium est soluble, les traces de peroxyde de fer restent insolubles quand on traite par l'eau. On laisse décanter et on filtre.

La solution d'aluminate est traitée par un courant d'acide carbonique qui précipite l'alumine insoluble. Il reste une solution de carbonate de soude qui, évaporée, sert à une nouvelle opération.

L'alumine séparée est desséchée : elle sert à obtenir le chlorure.

On opère sur le mélange suivant :

1 équivalent de chlorure de sodium,
1 équivalent d'alumine,
3 équivalents de charbon.

On fait d'abord à sec un mélange intime des trois corps : puis on ajoute peu à peu la quantité d'eau nécessaire pour que la masse puisse bien s'agglomérer. On en fait des boulettes de la grosseur du poing, que l'on passe à l'étuve. On les introduit dans une cornue cylindrique verticale en terre réfractaire et chauffée dans un four. Cette cornue porte deux tubulures : l'une inférieure pour l'arrivée du chlore, l'autre supérieure pour le départ du chlorure double qui se sublimise et qui va se condenser dans un récipient de fonte émaillée.

La cornue étant bien lutée, on fait arriver un courant de chlore.

Il se produit du chlorure double et il se dégage de l'oxyde de carbone.

Les cornues ont une hauteur de 1,25 *m* et 0,18 *m* de diamètre. Elles fonctionnent d'une manière continue et reçoivent deux charges par jour.

2° *Fabrication du sodium.*—Le sodium se prépare par décomposition du carbonate de soude, que l'on chauffe à une température très élevée en présence d'un mélange de craie et de charbon

$$Na\ CO^3 + 2\ C = Na^2 + 3\ CO.$$

La craie ajoutée n'intervient pas dans la réaction. Elle n'a d'autre effet que de former avec le carbonate de soude une masse assez peu fusible à la température produite pour que le charbon plus léger ne vienne pas surnager à la surface du bain de carbonate de soude fondu et avec lequel il ne formerait plus un mélange intime.

L'opération se fait dans des cylindres horizontaux en fer forgé; il y en a deux par foyer.

A la partie antérieure du cylindre se trouve un obturateur mobile, permettant le chargement des matières à traiter et le défournement. L'obturateur est percé d'une ouverture par laquelle passe un canon de fusil, qui conduit les vapeurs de sodium à l'appareil de condensation.

On commence par chauffer à température élevée (1 500° environ) les deux cylindres, puis on introduit le mélange; on ne place l'obturateur et on ne fait communiquer l'appareil à condensation que lorsque le sodium commence à distiller.

3° *Fabrication de l'aluminium.* — La fabrication de l'aluminium se produit dans un four à réverbère à sole elliptique et inclinée, se terminant par une espèce de rigole en fonte, pour permettre au métal de se rassembler. Au bas de la rigole, un trou de coulée permet de recueillir l'aluminium dans des bugadières.

La voûte du four est très surbaissée et a la forme d'un dos d'âne. Le passage de la flamme entre la voûte et l'autel peut être intercepté par un registre. La flamme passe alors par deux carneaux, ménagés dans l'autel et qui, en temps normal, sont fermés par des registres.

Une large ouverture, percée dans la voûte, permet le chargement des matières à traiter.

Au-dessus de la rigole en fonte se trouve une porte par laquelle on peut brasser le mélange pendant la réaction.

Par l'action du sodium sur le chlorure on n'obtient qu'un métal très divisé et difficile à rassembler. On a donc dû avoir recours à un fondant, on a choisi la cryolithe.

Le mélange final traité dans le four est le suivant :

Chlorure double d'aluminium et de sodium	12
Cryolithe	5
Sodium.	2

Le four est porté au rouge, on intercepte alors le passage de la flamme et des gaz de la combustion qui s'échappent par les carneaux latéraux de l'autel et l'on fait tomber le mélange et le sodium sur la sole.

Il se produit aussitôt une réaction vive, accompagnée d'une espèce de crépitement, la masse entre en fusion : la porte de travail est alors ouverte, on brasse le mélange avec une raclette en fer ; on laisse reposer pour que le métal se sépare de la scorie et l'on coule.

Le métal, reçu dans des poches en fonte, est coulé en lingots. Pour avoir un métal pur, bien débarrassé des scories, il faut procéder à 2 ou 3 refontes.

Remarques. — La partie faible du procédé Deville se trouve surtout dans la fabrication du sodium qui revient de 8 à 10 *f* le kilogramme. Ce prix de revient si élevé est dû en grande partie à la grande quantité de chaleur qu'il faut développer pour produire la réaction, quantité de chaleur rendue nécessaire par la présence du carbonate de chaux qui dilue la masse.

De plus, à cette température les vases où se produit la réaction, et qui sont en fer forgé, sont rapidement détériorés ; il faut les remplacer souvent, ce qui augmente d'autant la fabrication du sodium.

Ajoutons à cela le prix de revient du chlorure double et l'on comprend facilement que l'aluminium fût resté si longtemps à un prix élevé.

Procédé Castner.

Le procédé Castner est employé par l'*Aluminium Company Limited* dont les usines se trouvent à Oldbury, près de Birmingham.

C'est un perfectionnement des procédés Deville.

Un des principaux perfectionnements consiste dans le chauffage au gaz des différents fours, aussi bien pour le four à chlorure double que pour le four à sodium et le four à aluminium.

Il en résulte une première économie sur la dépense du combustible en même qu'un réglage plus facile des températures.

Fabrication du chlorure double. — Le four contient 5 grandes cornues pour le chargement du mélange d'alumine, de charbon et de sel. Ce mélange se prépare non plus à la main, mais mécaniquement. La machine le débite en cylindres, qui, à la sortie, sont coupés à longueur convenable par un ouvrier. Ces morceaux sont ensuite envoyés à l'étuve.

Le chlore fourni par une usine voisine exerce son action pendant trois jours environ. Chaque four donne 800 *kg* en moyenne de chlorure double. Ce qui fait pour les 12 fours installés à Oldbury une production journalière de 3 000 *kg* environ.

Mais ce chlorure double contient toujours une certaine quantité de chlorure de fer qui, dans la suite des opérations, donne du fer qui souille l'aluminium.

Pour arriver à une purification complète, M. Castner fait passer dans le sel maintenu en fusion un courant électrique. Le sel fondu est réparti successivement, au fur et à mesure qu'il est plus purifié, dans une série de vases pour chacun desquels l'intensité du courant diminue. En faisant ainsi passer le chlorure double dans une série de vases, on maintient le sel continuellement en mouvement, ce qui, suivant l'inventeur, est une condition nécessaire pour la réussite de l'opération.

Fabrication du sodium. — Dans ce procédé on emploie des vases

en fonte au lieu de vases en fer forgé, la température à laquelle il faut porter le mélange n'atteignant pas 1 000°.

Le sodium s'obtient, non plus par réduction du carbonate de soude au moyen du charbon, mais par réduction de la soude caustique par un carbure de fer artificiel.

Pour la préparation de ce carbure, on emploie un mélange de goudron et de fer amené à l'état de poudre fine. On chauffe en vase clos. Il y a distillation et production d'une sorte de coke très dur et très dense dont la composition centésimale est la suivante :

Carbone	30 0/0
Fer.	70 0/0

Le mélange de fer et de carbone, après refroidissement, est pulvérisé et peut servir alors à l'obtention du sodium.

Le mélange pour une charge est le suivant :

Soude caustique.	12 *kg*
Carbure	7 à 8 *kg*

On obtient ainsi environ 2 *kg* de sodium.

Le mélange est traité dans de grands creusets en fonte, chauffés dans un four, partagé en chambres par de petites cloisons verticales. Il y a autant de chambres que de creusets. Le fond de chaque chambre est mobile et permet de manœuvrer le creuset dans le sens vertical pour le mettre en place ou le sortir du four. C'est le couvercle qui est fixe. Il est traversé par le tuyau de dégagement des vapeurs de sodium.

Il reste, après le chauffage au fond du creuset, un mélange de fer à l'état de poudre, de carbonate de soude et de soude caustique échappée à la réaction. On traite par l'eau qui dissout la soude et le carbonate en laissant le fer insoluble. Celui-ci peut rentrer dans la fabrication : la solution alcaline est évaporée.

On voit que, par l'emploi du carbure de fer, M. Castner a supprimé l'adjonction de carbonate de chaux au mélange de charbon et de carbonate de soude. En effet le carbure très dense reste naturellement en contact intime avec la soude caustique fondue. De plus, celle-ci est plus fusible que le carbonate. Le prix de revient du sodium serait inférieur à 2 *f* le kilogramme.

Production de l'aluminium. — Le four pour aluminium se rapproche beaucoup de celui de Deville. Mais par suite du chauffage au gaz on n'a plus besoin de carneaux dans l'autel pour faire passer la

flamme et les gaz de la combustion pendant la réaction. Il suffit d'arrêter l'arrivée de gaz. La chaleur de la réaction suffit pour maintenir la température.

A Oldbury la charge se compose de :

Chlorure double.	40 *kg*
Sodium.	12 *kg*
Cryolithe	15 *kg*

Le sodium est mélangé à la masse après avoir été coupé en tranches. On obtient par charge environ 4 *kg* d'aluminium à 90 0/0. On ne coule du reste, en général, qu'après avoir traité six charges. On a donc à chaque coulée environ 24 *kg* d'aluminium.

Le prix de revient de l'aluminium par ce procédé serait de 18 à 20 *f.*

La cause principale d'économie réside dans le bas prix du sodium (il faut dépenser 3 *kg* pour obtenir 1 *kg* d'aluminium).

Il faut ajouter l'économie de combustible et celle du matériel, surtout des cylindres en fer forgé.

Procédé Netto.

Ce procédé est une modification des anciens procédés à la cryolithe proposés tout d'abord par Deville et aussi par Rose et Percy en 1855.

On traite la cryolithe par le sodium.

Production du sodium. — Le sodium se prépare dans une cornue en fonte chauffée dans un four à gaz. La cornue est fermée par un couvercle qui porte le tuyau de dégagement des vapeurs de sodium. Une ouverture placée à la partie supérieure de la cornue donne accès à la soude caustique fondue, qui vient se répandre sur le charbon chargé préalablement dans la cornue.

A la partie inférieure un trou de coulée permet, lorsqu'il est ouvert, l'écoulement du carbonate de soude qui se forme toujours pendant la réduction.

Toutes les vingt-quatre heures, on interrompt quelques instants l'opération pour faire le chargement du charbon.

Par ce mode de procéder l'usure de la cornue en fonte serait très réduite. Elle pourrait produire 750 *kg* de métal.

Il y a de plus l'avantage d'avoir une opération continue.

Pour 100 *kg* de sodium, il faut compter :

Soude caustique	1 000 *kg*
Fonte (usure).	120 *kg*
Combustible (évalué en coke). . . .	1 200 *kg*
Charbon réducteur	150 *kg*

Remarquons que, dans le procédé Castner, la dépense de soude caustique serait plus faible (12 *kg* de soude pour 2 *kg* de sodium).

Production de l'aluminium. — La cryolithe est mélangée de chlorure de sodium pour rendre la masse plus fusible ; elle est fondue dans un four dont la sole est faite en matériaux exempts de silice. Le chargement se fait par une ouverture ménagée dans la partie supérieure de la voûte. Quand la fusion est tranquille on fait couler la cryolithe fondue dans un récipient en fer analogue ou convertisseur Bessemer où elle est traitée par le sodium.

M. Brivet, dans sa note sur l'Exposition de 1889, indique que l'on fait arriver le sodium à la partie inférieure au moyen d'une pompe foulante, le sodium étant maintenu liquide à une température de 100°.

La chaleur dégagée par la réaction suffit pour maintenir la masse en fusion. Quand la réaction est terminée, on renverse le convertisseur. Toute la masse est reçue dans une lingotière conique en fonte. L'aluminium se rassemble au bas du lingot.

La scorie obtenue par ce procédé est très riche en fluorure de sodium et exempte de fer et de silicium, ces deux corps étant restés combinés à l'aluminium ; on pourra, par un traitement avec le sulfate d'alumine, analogue à celui que nous décrirons dans le procédé suivant, en retirer de la cryolithe artificielle qui, plus pure que la cryolithe naturelle, donnera de l'aluminium à 99 et 99,5 0/0.

Procédé Grabau.

Ce procédé donne l'aluminium par réduction du fluorure d'aluminium par le sodium.

Il diffère notablement des précédents. Il comprend trois phases :

1° Préparation du sodium ;

2° Préparation du fluorure d'aluminium ;

3° Fabrication de l'aluminium.

Préparation du sodium. — On prépare le sodium par l'électrolyse

d'un bain de chlorure de sodium, mélangé de chlorure de potassium et de strontium. Le bain est maintenu en fusion ignée.

Composition du bain: 3 molécules de chlorure de sodium ;
3 — chlorure de potassium ;
2 — chlorure de strontium.

Ce bain est fusible à une température bien inférieure au rouge. Il peut donner 95 0/0 de sodium.

L'électrolyse se fait dans une sorte de cuve dans laquelle plonge : 1° une tige de charbon conducteur servant de pôle positif et sur laquelle se dégage le chlore ; 2° une cloche de porcelaine tubulée sous laquelle aboutit le pôle négatif autour duquel se dégage le sodium. Celui-ci plus léger surnage le bain et se rassemble à la tubulure d'où part un tube en fer qui conduit le sodium dans un réservoir contenant de l'huile de naphte. Le chlorure de sodium est remplacé au fur et à mesure de sa décomposition.

Le prix de revient du sodium ne dépasserait pas 1,50 *f* le kilog.

Préparation du fluorure d'aluminium. — Pour obtenir ce fluorure on part du sulfate d'alumine sur lequel on fait réagir le spath fluor. Il se forme du sulfate de chaux peu soluble et du fluorure d'aluminium.

En pratique, la réaction ne peut être poussée aussi complètement que l'indique la formule.

(3) $$Ca\,Fl^2 + Al^2\,(So^4)^3 = Al^2\,Fl^6 + 3\,(Ca\,So^4).$$

On ajoute seulement à la solution de sulfate d'alumine la quantité de fluorure de calcium, strictement nécessaire, pour que le mélange des sels dissous ait la composition [$Al^2\,(Fl^4\,So^4)$] à laquelle l'inventeur donne le nom de fluosulfate d'aluminium. L'opération se fait à une température d'environ 60° C. et dure plusieurs heures.

On laisse ensuite décanter et l'on filtre le liquide décanté. On lave le sulfate de chaux précipité. Les eaux de lavage servent à une nouvelle opération. Il y a une légère perte de sulfate d'alumine qui reste mélangé au sulfate de chaux. (Environ 3 0/0.)

La liqueur filtrée de fluosulfate est ensuite évaporée avec tout le soin possible à consistance sirupeuse.

On ajoute ensuite de la cryolithe en quantité telle que l'acide sulfurique du fluosulfate sature, par double décomposition, la soude de la cryolithe ajoutée, laquelle abandonne alors son fluor à l'aluminium. Le mélange se fait au malaxeur.

La masse est ensuite étuvée vers 150° ; on a ainsi un produit de texture poreuse qui peut être concassé facilement.

On chauffe au rouge sombre les morceaux concassés ; ce chauffage se fait sur une plaque de fonte garnie d'un revêtement exempt de fer et de silice. La double décomposition s'effectue à cette température sans que la masse soit fondue. Un lavage à l'eau entraîne le sulfate de soude formé et laisse la plus grande partie du fluorure d'aluminium peu soluble. On le moule en gâteaux, qui sont desséchés, puis concassés pour le traitement suivant.

Fabrication de l'aluminium. — Le fluorure d'aluminium est chauffé au rouge naissant dans un cylindre en fer vertical garni d'un revêtement de charbon de cornue. Ce cylindre est hermétiquement fermé par un couvercle à la partie supérieure. Le fond, au contraire, est mobile autour d'un axe. Quand le fluorure a été chauffé à la température voulue, on amène sous le cylindre la cuve à réaction. Cette cuve est en fonte et revêtue d'un garnissage en cryolithe de plusieurs centimètres ou de charbon de cornue. Le couvercle peut fermer la cuve hermétiquement.

On laisse tomber le fluorure d'aluminium ; on ajoute le sodium nécessaire, préalablement chauffé à une température voisine de la fusion. On clôt le vase aussi hermétiquement que possible. Il se produit une réaction très vive ; la température monte beaucoup (au rouge blanc). Par suite de l'élévation de température, il se forme une grande quantité de vapeurs de sodium ; la masse est soumise à une pression énergique qui facilite la pénétration et le mélange des deux matières.

Les produits de la réaction sont de la cryolithe et de l'aluminium. Celui-ci se rassemble au fond du vase où on le recueille après refroidissement.

Dans la pratique, on ajoute ordinairement la quantité de sodium nécessaire pour que, par sa combinaison avec le fluor, il donne, avec l'excès de fluorure d'aluminium, naissance à du fluorure double d'aluminium et de sodium. La pratique a montré qu'on avait ainsi le minimum de perte.

On a donc comme scorie de la cryolithe artificielle, qui, lorsque l'opération est bien conduite, est plus pure que la cryolithe naturelle et ne contient ni silice ni fer.

On ne consommera donc que fort peu de cryolithe naturelle, et seulement pour la mise en marche, ce qui est avantageux, car

ce minéral, peu répandu dans la nature, est d'un prix assez élevé. Le véritable minerai est le sulfate d'aluminium avec adjonction de spath fluor. On a même un excès de cryolithe artificielle, qui, du reste, grâce à sa pureté, sera d'une vente facile et rémunératrice.

En prenant toutes les précautions nécessaires, on peut arriver à produire de l'aluminium à 99,70 de métal pur et dont le prix de revient ne dépasserait pas 16 *f* le kilogramme.

Les principaux avantages de ce procédé se trouvent, à notre avis, dans la fabrication du sodium, qui paraît très économique, dans une meilleure utilisation de ce sodium, et enfin dans la suppression des fours chauffés à des températures élevées.

Si l'on pouvait arriver à rendre continue la décomposition du fluorure d'aluminium, ce qui permettrait d'utiliser une partie de la grande quantité de chaleur dégagée dans la réaction, on verrait, croyons-nous, diminuer encore le prix du métal d'une façon notable.

L'inventeur a aussi proposé d'obtenir, par ce procédé, des alliages d'aluminium avec d'autres métaux. On aurait là, peut-être, un certain avantage, car la fabrication du fluorure pourrait être, sans doute, faite avec un moindre soin, ce qui apporterait une certaine économie.

Procédés électrolytiques.

Dans les procédés chimiques que nous venons d'examiner, on s'est surtout attaché à produire l'aluminium pur, et l'on est parvenu à avoir, en effet, un métal ne contenant pas pratiquement plus de 3 à 4 millièmes d'impuretés.

Parmi les procédés électrolytiques dont je vais m'occuper, l'un, le procédé de MM. Cowles, ne permet d'obtenir que des alliages d'aluminium ; d'autres, tels que les procédés de M. Héroult et de MM. Minet et Bernard frères, permettent de fabriquer, soit l'aluminium, soit les alliages d'aluminium.

Procédé Cowles.

C'est en 1885 que MM. Cowles frères prirent leurs premiers brevets. Leur première usine d'expériences fut établie à Cleveland.

La force utilisée était donnée par une machine de 125 chevaux

actionnant une dynamo pouvant pròduire un courant de 1 500 ampères environ avec force électromotrice de 50 volts.

Ils établirent ensuite une usine à Lockport, où l'on utilisait une chute d'eau pouvant fournir 1 000 chevaux. La dynamo fournissait un courant de 3 000 ampères et de 50 volts. Le rendement du four en marche normale était de 1 *k* d'aluminium pour 77 chevaux électriques.

Leurs différents essais prouvèrent à MM. Cowles que les rendements augmentaient avec la puissance de la dynamo. Aujourd'hui, à l'usine de Milton, on marche avec une dynamo qui donne un courant de 5 000 ampères avec force électromotrice de 60 volts.

Les fourneaux de l'usine de Milton sont formés d'une cuve en briques réfractaires, ayant les dimensions suivantes :

Hauteur : 0,66 *m;* grand côté : 1,68 *m;* petit côté : 0,51 *m.*

Sur le bas d'une des grandes faces se trouve un trou de coulée.

Dans les deux parois latérales sont cimentés deux manchons en fonte, permettant le déplacement longitudinal des crayons en charbon servant d'électrodes. Il y a 9 crayons par électrode ; leur diamètre est d'environ 6 *cm* ; leur longueur, de 80 à 90 *cm.* Ils sont portés par une masse en fer ou en cuivre, suivant l'alliage à produire et qui glisse dans le manchon en fonte. La masse est fixée à une tige en cuivre, laquelle porte un écrou où s'engage une vis, qui, manœuvrée par une manette, permet le mouvement de va-et-vient de tout le système. Ce mouvement d'avance et de recul est nécessaire pour écarter ou rapprocher les électrodes et rendre la résistance aussi peu variable que possible pendant l'opération. Dans les premiers fours, ce dispositif n'existant pas, il en résultait des sautes brusques dans la résistance.

Chargement du four. — On étend et l'on tasse sur le fond du four du charbon de bois en poudre, préalablement trempé dans un lait de chaux, puis desséché. Le charbon de bois, seul, non chaulé, qui était primitivement utilisé, devenait, par suite de la chaleur intense à laquelle il était soumis, presque aussi conducteur que du graphite.

Par trempage dans un lait de chaux, le charbon, même transformé en une espèce de graphite, reste peu conducteur. L'épaisseur de la couche de charbon ainsi tassé est de 20 à 23 *cm.* Les parois du four sont ainsi recouvertes de la même brasque. Pour cela on introduit un gabarit en tôle, sorte de parallélipipède dont les

bases sont enlevées, ayant exactement les dimensions que l'on veut donner au laboratoire.

Des échancrures laissent la place nécessaire au passage des électrodes.

Alors, dans l'espace vide laissé entre le gabarit et les parois, on continue à tasser du charbon chaulé. L'intérieur du gabarit est alors rempli du mélange à réduire. On a soin auparavant de rapprocher les crayons au contact pour qu'au début du passage du courant la résistance soit minima.

Pour la production du ferro-aluminium, le mélange est formé de bauxite, de rognures de fer et de débris de crayon.

Pour le bronze-aluminium, on remplace le fer par du cuivre et la bauxite, si elle est trop ferrugineuse, par de l'émeri et du corindon.

Quand le laboratoire est rempli, on retire le gabarit avec précaution; on finit le remplissage du fourneau par de la sciure de bois bien desséchée, qui paraît donner toute satisfaction. Elle est, en effet, assez mauvaise conductrice; de plus, elle forme une couche légère et perméable qui permet facilement le dégagement des gaz produits. Elle est, du reste, peu à peu carbonisée, et donne de la poudre de charbon qui, après chaulage, pourra servir à former la sole. Quand le four est rempli, on place le couvercle en matériaux réfractaires; ce couvercle est percé de quelques ouvertures pour le dégagement des gaz.

Pour la mise en marche, une fois le fourneau introduit dans le circuit, on augmente graduellement la résistance : l'intensité monte peu à peu jusqu'à 3 000 ampères; on la maintient à ce chiffre jusqu'à ce que la masse soit bien incandescente et que la flamme due au développement d'oxyde de carbone commence à se montrer. On monte alors au maximum. On suit l'opération en maintenant la résistance aussi constante que possible jusqu'à la fin de la chauffe.

L'alliage d'aluminium produit se rassemble au fond du creuset. Quand la réduction est terminée, on retire les électrodes, on interrompt le passage du courant, on débouche le trou de coulée.

La coulée terminée, on peut recommencer à charger le four pour une nouvelle chauffe.

Outre l'alliage d'aluminium. on a une certaine quantité, assez variable, d'une combinaison d'alluminium et de carbone, à forte dose d'aluminium.

On fabrique à Milton du bronze-aluminium dont la teneur en aluminium varie de 18 à 30 0/0.

On fabrique aussi du bronze au silicium de 6 à 7 0/0. La charge se compose alors de quartz, de charbon de bois et de rognures de cuivre.

Avec de l'argile pure on a un bronze alumino-siliceux.

Pour le ferro-aluminium la teneur varie de 5 à 20 0/0.

Par des refontes faites à une fonderie annexée à l'usine de Milton, on amène les bronzes à la teneur demandée en ajoutant soit du cuivre, soit du bronze riche.

Pour arriver au titre on s'appuie sur la couleur de l'alliage refroidi et sur sa résistance à la traction. La couleur est d'autant plus claire que la teneur en aluminium est plus forte.

Le rendement du fourneau en marche pour bronze-aluminium est plus avantageux qu'en marche pour ferro-aluminium.

Pour le bronze on a pu arriver, par heure, à produire 22 *g* d'aluminium par cheval-heure.

Pour le ferro-aluminium on n'a pu dépasser, par heure, 16 *kg* d'aluminium par cheval-heure.

Remarque sur le procédé Cowles. — L'opération Cowles est une application des idées émises par Siemens, lorsqu'il proposa l'emploi du four électrique pour la fusion de l'acier et des métaux à point de fusion élevé.

Le principe de ce four repose sur l'action due à la grande quantité de chaleur que peut produire le courant électrique dans certaines conditions, chaleur qu'il est possible d'obtenir concentrée sur une petite surface d'action.

Il en résulte que dans cette opération le phénomène principal auquel est due la production de l'aluminium est la dissociation, et non pas l'électrolyse de l'alumine ni sa réduction par le carbone.

Il nous paraît, en effet, impossible d'admettre que l'atome de carbone, qui, en se combinant avec l'atome d'oxygène pour donner un atome d'oxyde de carbone, dégage environ 30 000 calories, puisse réduire l'alumine qui, formée par l'aluminium et l'oxygène, dégage pour une molécule (Al^2O^3) 391 600 calories, soit pour une demi-molécule 195 000 calories environ. La production de l'oxyde de carbone ne peut être niée, mais c'est une conséquence de la dissociation de l'alumine, et non la cause de sa réduction.

L'oxyde de carbone se produit dans les parties plus froides du four.

Le carbone agit aussi par sa masse pour empêcher l'oxygène dégagé de se reporter sur l'aluminium, pendant que ce dernier est absorbé par le fer ou le cuivre fondu.

Quant à l'action électrolytique proprement dite du courant, elle paraît tout à fait secondaire, car on a des résultats sensiblement similaires, que les courants soient alternatifs ou continus.

Procédé Héroult.

Ce procédé est appliqué par la Société électro-métallurgique suisse aux usines de Lauffen-Neuhausen, près de Schaffouse, et par la Société électro-métallurgique française dont les usines sont situées à Froges (Isère).

D'après la revendication de l'inventeur, ce procédé repose sur l'électrolyse de l'alumine, fondue par le courant lui-même.

On peut obtenir soit de l'aluminium pur, soit des alliages d'aluminium.

Le travail demandé au courant est double :

1° Fondre le minerai (alumine seule ou alumine mélangée de fluorure d'aluminium pour avoir un bain plus fusible);

2° Réduire l'alumine en aluminium qui se portera au pôle négatif et oxygène qui se combinera au carbone du pôle positif.

A l'usine de Froges on utilise comme force motrice une chute d'eau qui actionne trois turbines :

1° Deux turbines de 300 chevaux accouplées à deux dynamos Brown qui peuvent fournir un courant de 6 000 ampères avec une force électromotrice de 15 volts. On serait arrivé aujourd'hui à Froges à opérer avec un courant de 8 volts seulement;

2° Une turbine de 100 chevaux à laquelle est accouplée la dynamo excitatrice, qui peut donner un courant de 300 ampères avec force électromotrice de 65 volts. Cette dynamo fait de plus marcher les appareils de l'usine.

Le courant produit par les deux premières dynamos est envoyé aux creusets, où s'effectue la réduction par l'intermédiaire de deux gros conducteurs en cuivre.

La disposition de la cuve à réduction ainsi que la composition du bain diffèrent suivant que l'on veut obtenir de l'aluminium pur ou un alliage.

Production de l'aluminium pur. — Le bain est formé d'un mélange d'alumine et de fluorure d'aluminium et de sodium. Le creuset de réduction est constitué par une cuve cylindrique en fer (hauteur 0,75 *m*, diamètre 0,60 *m*) ; elle est garnie intérieurement de charbon. Une ouverture sur le fond de la cuve donne passage à l'électrode négative. Une seconde ouverture sur la paroi cylindrique forme trou de coulée. La cuve est fermée par un couvercle percé de deux trous, l'un au centre pour le passage de l'électrode positive, l'autre pour le chargement d'alumine.

L'électrode négative est en charbon. L'électrode positive, formée par un faisceau de plaques de charbon, peut recevoir un mouvement de va-et-vient dans le sens vertical pour régler uniformément la résistance.

Marche de l'opération. — On remplit la cuve de cryolithe bien sèche, aussi exempte que possible de fer et de silice ; on fait passer le courant pour en produire la fusion. On ajoute alors peu à peu de l'alumine et du fluorure d'aluminium au fur et à mesure de la production de l'aluminium, en ayant soin de ne pas refroidir le bain par des charges trop fortes.

L'électro de positive est brûlée par l'oxygène. Il se forme de l'oxyde de carbone, qui se dégage par les ouvertures du couvercle.

On maintient cette électrode positive à la distance convenable de la cathode, et, quand elle est complètement brûlée, on la remplace aussi rapidement que possible pour que le bain ne se refroidisse pas. Quand la quantité d'aluminium produite est suffisante, on procède à la coulée (en général toutes les vingt-quatre heures). Au bout de quinze à vingt jours il faut vider toute la cuve pour remplacer la cryolithe, toujours très détériorée.

Production des alliages d'aluminium. — Le creuset où se fait la production des alliages d'aluminium est formé par une caisse en fonte de 1 *m* de hauteur et de section carrée dont les côtés ont 1,20 *m*. Toutes les parois sont revêtues d'une garniture de charbon conducteur d'environ 0,35 *m* d'épaisseur et fermant le pôle négatif.

L'électrode positive est fermée comme pour le cas de l'aluminium pur de plaques de charbon. Elle peut recevoir un mouvement de va-et-vient dans le sens vertical. La caisse est fermée par un couvercle en matériaux réfractaires.

Marche de l'opération. — On introduit dans le creuset une certaine quantité de métal à allier à l'aluminium. On abaisse l'anode et l'on fait passer le courant. Le métal est alors fondu. On ajoute alternativement et par petites quantités à la fois de l'alumine calcinée et du métal. Sous l'influence de la chaleur, due à la résistance qu'introduit l'alumine au passage du courant, celle-ci est instantanément fondue.

On continue l'addition de l'alumine et de métal jusqu'à ce que le creuset soit rempli, puis au fur et à mesure de la formation de l'alliage. On coule quand le creuset est plein.

La marche de l'opération doit être suivie avec soin pour maintenir l'anode toujours à la même distance du bain en fusion.

On fabrique à Froges :

Du ferro-aluminium à 30 0/0 d'Al ;

Du bronze aluminium de 10 à 15 0/0.

On fabrique aussi par les mêmes procédés des bronzes siliceux à 15 0/0 de silicium.

Un des avantages des procédés Heroult consiste dans la continuité de la marche, qui n'est, en effet, interrompue que pour le changement du charbon, changement que l'on effectue, du reste, aussi rapidement que possible.

Les matières premières sont ici, l'alumine, la cryolithe et le charbon. Actuellement ces produits reviennent à l'usine au moment de l'emploi à environ 1,10 *f* le kilo. Il y aurait donc intérêt à fabriquer ces produits à l'usine à aussi bon marché que possible : c'est du reste, je crois, un des buts que l'on cherche à atteindre.

Pour une production de 100 *kg* d'aluminium, on dépense environ 220 *kg* d'alumine, 16 *kg* de cryolithe et 16 *kg* de charbon.

Théoriquement on ne devrait dépenser que 187,20 *kg* d'alumine.

On a donc une perte de 15 0/0 environ.

La production d'aluminium ne dépasse pas 20 *gr* par chevalheure.

M. Héroult espère toutefois que quelques améliorations permettront d'arriver au prix de 10 *f* le kilo d'aluminium.

Aujourd'hui les usines de Froges vendent l'aluminium pur en lingots 20 *f* le kilo.

Dans le procédé Héroult, on peut admettre qu'il y a électrolyse du bain fondu sous l'influence du courant ; mais, en outre, celui-ci doit, comme nous l'avons déjà dit, donner la chaleur nécessaire pour maintenir la fusion du bain.

Dans le cas de l'aluminium pur, le rôle de la cryolithe est plus complexe, à notre avis, que celui que lui a attribué tout d'abord l'inventeur.

Elle permet d'obtenir, il est vrai, un bain fusible à température relativement basse, ce qui n'aurait pas lieu avec l'alumine seule ainsi que le montrent les travaux de MM. Cowles. Mais il faut, de plus, lui attribuer une influence marquée dans les réactions, influence qui est indiquée par l'altération plus ou moins grande que subit la cryolithe et que n'explique pas seule la haute température à laquelle elle est portée. La cryolithe est tout d'abord décomposée sous l'action du courant et donne de l'aluminium et du fluor. Ce dernier à son tour réagit sur l'alumine pour reformer du fluorure d'aluminium et dégager de l'oxygène qui se porte sur le charbon au pôle positif.

Procédés Minet-Bernard.

Ce procédé est utilisé actuellement à Creil. Il est fondé sur l'électrolyse de la cryolithe mélangée de chlorure de sodium. L'alumine ajoutée au bain pendant l'opération sert à régénérer le fluorure et à diminuer la perte du fluor.

C'est la différence essentielle avec le procédé Héroult, revendiquée par l'inventeur du procédé dans ses brevets.

Une autre différence très importante consiste dans la méthode suivie pour maintenir l'électrolyte à l'état de fusion.

Dans le procédé Héroult, ainsi que nous l'avons vu, le courant lui-même doit maintenir le bain à l'état fondu.

Dans le procédé Minet, le bain est maintenu liquide par une source extérieure de chaleur. Il faut remarquer en effet, que, par suite de sa composition même, le bain peut être fondu à une température relativement basse (800° au maximum).

Par cette méthode, on obtient à Creil soit de l'aluminium pur, soit des alliages d'aluminium.

Aluminium pur. — L'opération se fait dans une cuve en fonte percée à la partie inférieure d'une ouverture donnant passage à l'électrode négative, isolée de la cuve. Cette électrode négative est formée par une espèce de cuvette en charbon conducteur.

L'électrode positive est formée par une tige de charbon, placée verticalement au-dessus de la cuvette négative.

On relie la cuve en fonte au conducteur négatif par une dérivation absorbant 5 0/0 environ de l'intensité totale du courant.

Grâce à cette disposition, il se forme à la surface de la cuve une couche très faible d'aluminium, qui, se combinant à la fonte de la cuve, donne un alliage riche en aluminium. Cet alliage forme une espèce de couverte protectrice et empêche toute combinaison subséquente du fer et de l'aluminium et surtout toute attaque de la part du bain fondu.

Le bain est formé d'un mélange de chlorure de sodium et de cryolithe (environ 56 0/0 de chlorure et 34 0/0 de cryolithe).

On fait fondre le bain et l'on donne passage au courant. L'aluminium se rassemble dans la cuvette au pôle négatif. Le fluor se dégage au pôle positif. Pour éviter la perte de fluor, le chargement au fur et à mesure de l'avancement du travail est fait par un mélange de cryolithe et d'alumine (1/3 cryolithe, 2/3 alumine environ).

En opérant ainsi, la perte de fluor (tant comme fluor dégagé que comme fluorure volatilisé) est réduite au minimum.

M. Minet vient de modifier la cuve d'une façon importante. La cuve nouvelle est encore en fonte, mais garnie intérieurement d'un revêtement protecteur en charbon aggloméré qui sert d'électrode négative. La cuvette primitive est supprimée. La cuve porte à la partie inférieure un trou de coulée.

On supprime ainsi le courant de dérivation. L'aluminium se forme sur les parois de charbon. La cuve peut marcher trente jours environ.

Ferro-Aluminium. — Pour obtenir le ferro-aluminium, on supprime l'électrode négative en charbon ; on réunit le conducteur au vase en fonte lui-même, qui devient alors l'électrode négative.

Dans le procédé Minet-Bernard, c'est bien l'électrolyse du fluorure d'aluminium qui donne lieu à la formation du métal. L'alumine ajoutée vient régénérer le fluorure.

Toutefois, la régénération ne se fait pas complètement. Il y a perte d'une certaine quantité de fluor, qui doit être compensée par une nouvelle addition de cryolithe. Il se forme aussi une certaine quantité d'oxyfluorure d'aluminium.

Par le procédé Minet-Bernard on pourrait produire 30 *g* de métal pur par cheval-heure.

Remarque sur les différents procédés électrolytiques

Les phénomènes qui se produisent dans les trois procédés électrolytiques que nous venons de décrire succinctement sont très

différents. On peut considérer ces trois procédés comme trois types principaux, d'où découlent les autres méthodes, suivies actuellement pour obtenir l'aluminium ou ses alliages avec le concours de l'électricité.

Les particularités que présente chacun de ces procédés sont bien mises en évidence quand on examine le régime sous lequel le courant est utilisé.

Dans le procédé Cowles, il faut produire une grande quantité de chaleur pour arriver à dissocier l'alumine en ses deux éléments, aluminium et oxygène. Nous savons que ces deux corps, en se combinant pour donner une molécule d'alumine, dégagent 391-600 calories.

Cette grande quantité de chaleur est obtenue dans le fourneau Cowles en introduisant une grande résistance dans le courant.

Pour vaincre cette résistance, cause première de la production de chaleur, il faudra employer un courant à potentiel élevé.

Le courant dans le procédé Cowles a une force électromotrice de 60 à 65 volts.

Dans le procédé Héroult, il faut à la fois utiliser le courant :

1° Pour produire une certaine quantité de chaleur qui amènera et maintiendra le bain à électrolyse à l'état fondu ;

2° A produire l'électrolyse du bain.

Pour la première partie du travail, il faut opposer au passage du courant une certaine résistance qui, pour être vaincue, demande un courant à potentiel assez élevé. Ce courant avait tout d'abord une force électromotrice de 20 volts. Il paraîtrait que, actuellement, on ne dépasserait pas 8 volts.

Dans le procédé Minet-Bernard, le courant n'a à effectuer que l'électrolyse du bain. Le bain est chauffé par une source extérieure de chaleur. La résistance à vaincre peut être très réduite. Il suffira de disposer d'un courant à faible potentiel.

Le courant a une force électromotrice de 5 volts en marche normale. M. Minet est même parvenu à utiliser un courant de 4 volts seulement. *A priori*, d'ailleurs, et par suite de la facile fusibilité du bain, la méthode Minet nous paraît préférable. Je crois, en effet, qu'il vaut mieux, en l'état actuel, employer une source de chaleur extérieure, pour produire des températures relativement basses, et n'employer l'énorme quantité de chaleur que peut produire le courant que dans le cas où il faut concentrer cette chaleur dans une faible zone d'action.

Propriétés de l'aluminium

L'aluminium est de couleur blanche, rappelant celle de l'argent, lorsqu'il a été simplement fondu ; sa couleur devient bleuâtre quand il a été fortement écroué.

Sa densité varie de 2,67 à 2,50, suivant qu'il a été martelé ou non.

Sa conductibilité est égale à *quatre* fois celle du fer, à la moitié environ de celle de l'argent et du cuivre. Ainsi, suivant Matthiessen, la résistance d'un fil de ces différents métaux de 1 *m* de long et de 1 *mm* de diamètre est pour :

	Ohm
Argent recuit	0,01937
Cuivre recuit	0,02057
Aluminium recuit.	0,03751
Fer recuit	0,12510

L'aluminium est de même bon conducteur de la chaleur.

Sous l'action de la chaleur, il passe vers 550° par un état pâteux. Il ne peut alors être soumis au martelage sans devenir cassant ; mais, sous l'action d'une compression, on peut le souder à lui-même.

Son point de fusion est à 650° environ ; la présence d'*un pour cent* de fer le relève à environ 750°. Quand on veut fondre l'aluminium pur, tout en lui conservant toute sa pureté, il faut avoir soin d'opérer la fusion dans un creuset brasqué à la magnésie pure. Dans les autres cas, pour préparer des alliages, par exemple, on peut opérer dans des creusets de plombagine. Mais l'aluminium se charge d'un peu de silicium.

Le point de volatilisation de l'aluminium paraît n'être atteint qu'aux plus hautes températures.

L'aluminium simplement coulé est mou, il est très ductile et malléable. Après laminage ou martelage, il devient très dur.

Ainsi, la résistance à la traction et la limite d'élasticité varient du simple au double, suivant que l'on opère sur un moulage ou sur des fils étirés.

Cette influence du travail sur les propriétés mécaniques de l'aluminium est mise en évidence dans le tableau ci-dessous, où sont réunis les résultats d'essais comparatifs faits sur :

1° Le métal simplement coulé ; — 2° le métal laminé ; — 3° le métal étiré en fil ; — 4° le métal à l'état de barres.

	Limite d'élasticité en kilogrammes par millimètre carré de section.	Résistance à la rupture en kilogrammes par millimètre carré de section.	Contraction 0/0
Métal coulé. . .	4,25 *kg*	10,60 *kg*	15
— laminé . .	8,40	17,00	35
— étiré . . .	11,30	20,40	60
— en barres .	10,00	20,00	40

L'aluminium sous forme de barrettes travaillées au marteau ou au laminoir devient très sonore.

Il résiste d'une façon toute spéciale aux divers agents chimiques.

Les corps gazeux qui se trouvent répandus dans l'atmosphère sont sans action sur lui. Ainsi, l'acide carbonique, l'acide sulfhydrique, l'eau à l'état de vapeur ne le corrodent point ; l'oxygène lui-même, malgré l'humidité, est sans action, tout au moins tant que l'aluminium conserve l'état solide.

De nouvelles expériences auraient montré que cette inaltérabilité de l'aluminium aux gaz de l'atmosphère ne serait pas aussi complète qu'on l'avait cru jusqu'alors.

Il y aurait bien attaque du métal ; mais la pièce, aussi bien dans le cas de l'oxygène que de l'acide sulfhydrique, se recouvrirait d'une pellicule excessivement fine et transparente d'alumine, qui n'enlèverait rien ni au poli ni au brillant de la pièce, mais qui empêcherait toute attaque ultérieure de la pièce.

Toutefois, il faut remarquer que la présence du silicium, même en assez faible quantité, rend l'aluminium altérable aux agents atmosphériques ; et, comme l'aluminium pur contient toujours des quantités très variables de silicium, il est difficile de savoir si l'attaque ne peut être attribuée à la présence de ce corps ; les résultats trouvés par les divers expérimentateurs s'expliqueraient par la présence d'une proportion plus ou moins grande de silicium.

L'aluminium à l'état de fusion est, au contraire, très avide d'oxygène, avec lequel il se combine pour donner l'alumine, qui, très légère et très réfractaire, ne se dissout pas dans les métaux, avec lesquels elle se trouve en contact, tout au moins aux températures produites dans les appareils de l'industrie. Il faut remarquer, de plus, que cette combustion est accompagnée d'un très fort dégagement de chaleur : pour la formation d'une molécule d'alumine, il y a dégagement de 391-600 calories.

Cette avidité de l'aluminium fondu pour l'oxygène est telle

qu'il décompose l'oxyde de carbone, la silice, l'acide borique, ainsi que la plupart des oxydes métalliques avec lesquels il peut se trouver en contact dans les opérations métallurgiques, tels que l'oxyde de cuivre, l'oxyde de fer, l'oxyde de manganèse.

Le soufre, ainsi que les polysulfures, sont sans action sur l'aluminium.

Les acides sulfurique et azotique, dont l'action à froid n'est pas sensible, l'attaquent légèrement à chaud.

L'acide chlorhydrique, au contraire, dissout facilement l'aluminium, même à froid.

Les solutions alcalines l'attaquent et le dissolvent, pour donner des aluminates alcalins avec dégagement d'hydrogène.

Au contraire, les alcalis en fusion ignée ont une action peu sensible.

ALLIAGE D'ALUMINIUM ET D'ÉTAIN

La composition de cet alliage :

Étain	10
Aluminium.	100

a été donnée la première fois par M. Bourbouze.

Le principal intérêt de cet alliage est de pouvoir se souder aussi facilement que le laiton, propriété que ne possède pas l'aluminium pur.

Il a une grande importance au point de vue des appareils d'optique.

Il est plus blanc que l'aluminium ; sa densité est égale à 2,85. Son inaltérabilité aux agents atmosphériques est égale, sinon supérieure, à celle de l'aluminium.

Il est de plus très facile à travailler.

ALLIAGES D'ALUMINIUM ET DE CUIVRE

Avant de parler des alliages connus sous le nom de bronze-aluminium, je citerai des essais faits au parc aérostatique de Meudon sur l'aluminium additionné de quantités variables, mais assez faibles (2 à 8 0/0) de cuivre.

Pour les essais l'alliage fondu a été laminé en feuilles de 0,001 *m* d'épaisseur, dans lesquelles on a ensuite découpé des prises d'essais de 0,005 *m* de largeur.

Les résultats ont été les suivants :

COMPOSITION Aluminium.	+ Cuivre.	DENSITÉ Calculée.	— Trouvée.	RÉSISTANCE A LA TRACTION En kilos par millimètre carré.
pur	0	2,67		18,7
98	2	2,78	2,71	30,7
96	4	2,90	2,77	31,1
94	6	3,02	2,82	38,6
92	8	3,14	2,86	35,5

Ce qui prouverait que la résistance à la traction augmenterait beaucoup avec de faibles teneurs en cuivre, jusqu'à 6 0/0, teneur à partir de laquelle elle paraît diminuer à nouveau. Il faut remarquer, de plus, que la densité n'augmente pas proportionnellement à la teneur en cuivre.

BRONZE-ALUMINIUM

Les alliages obtenus en ajoutant de l'aluminium au cuivre sont connus sous le nom de bronzes-aluminium.

Suivant la proportion d'aluminium ajoutée, ces alliages ont des propriétés mécaniques et physiques spéciales, qui depuis leur découverte faisaient désirer que l'on pût produire l'aluminium à un prix relativement peu élevé, permettant alors de l'allier couramment au cuivre.

L'aluminium ajouté au cuivre joue tout d'abord un rôle chimique considérable. Il épure complètement le métal en désoxydant les plus faibles traces d'oxyde de cuivre, que contient toujours le cuivre métallique du commerce. L'alumine formée par la réaction se rassemble en totalité à la surface du bain.

L'aluminium joue donc ici le même rôle que le silicium et le phosphore ; et, dans certains cas, il est plus avantageux, car le métal obtenu est plus homogène et moins sec. Quelques millièmes d'aluminium suffiront, en général, pour obtenir un bon résultat.

La proportion d'aluminium que l'on peut ajouter utilement au cuivre peut atteindre 12 0/0. Au delà on a des métaux très durs, mais trop secs, et dont l'emploi est impossible en pratique.

Parmi ces alliages, l'alliage à 10 0/0 est surtout remarquable. Ses propriétés doivent le faire regarder comme une véritable combinaison, plutôt que comme un alliage. Il fut découvert par Debray qui en décrivit, au moment de la découverte industrielle de l'aluminium, la fabrication et les principales propriétés.

Pour l'obtenir, Debray chauffait le cuivre jusqu'à fusion et ajoutait au métal fondu les 10 0/0 d'aluminium. Il protégeait la surface du bain par une couche de cryolithe. A la suite de l'addition des 10 0/0 d'aluminium, il se produisait un dégagement notable de chaleur. Le bain passait au blanc éblouissant. C'est là le meilleur indice qu'il y a véritablement combinaison. Pendant le refroidissement, il ne se produit pas de liquidation : le métal obtenu est homogène dans toute sa masse. Il faut opérer avec des creusets en charbon, tant pour éviter la fusion du creuset que son attaque par l'aluminium.

Aujourd'hui le bronze-aluminium s'obtient en général directement.

La couleur du bronze-aluminium varie du jaune plus ou moins orangé pour se rapprocher du blanc au fur et à mesure que la teneur en aluminium augmente. A 12 0/0 on a une couleur jaune pâle se rapprochant de la couleur du laiton. A 10 0/0 la couleur est jaune d'or franc.

Dès que la teneur en aluminium dépasse 5 0/0, l'alliage obtenu jouit de la propriété d'être très peu altérable sous l'action des gaz atmosphériques. Exposé à l'air, il conserve son brillant pendant de longues années, en même temps que sa dureté le rend moins rayable et lui permet de garder son beau poli. Ces propriétés d'inaltérabilité et de belle couleur d'or le font beaucoup employer dans l'orfèvrerie.

Un autre propriété très importante du bronze-aluminium serait due à son coefficient de frottement assez faible, ce qui en ferait, surtout dans l'avenir, l'alliage pour coussinets par excellence. D'après quelques essais faits, en Angleterre, par M. Self, le coefficient de frottement est, en effet, plus faible que pour les alliages employés jusqu'à ce jour. Toutefois, cet expérimentateur a pu remarquer que les pièces en bronze-aluminium avaient tendance à s'échauffer plus et que l'usure était plus grande. Il y a lieu de craindre aussi que, dans le cas de charges un peu fortes, les pièces en bronze-aluminium n'aient tendance à se laminer, ce qui augmenterait beaucoup le frottement. Cette question très intéressante mérite d'être étudiée très à fond.

L'aluminium augmente dans de très grandes proportions la dureté et aussi la résistance du cuivre sous les efforts de traction.

Avec 9 0/0 d'aluminium, on a un métal qui se rapproche, à ce point de vue, des meilleurs aciers coulés. La limite d'élasticité est très élevée ; elle se rapproche beaucoup de celle de rupture.

La résistance à la compression peut être comparée à celle des aciers. D'après quelques essais, la résistance à la flexion dépasserait de beaucoup celle du fer.

Suivant la teneur en aluminium, l'allongement 0/0 peut être augmenté d'une façon remarquable. Cet allongement est maximum pour des teneurs de 2 à 3 0/0 d'aluminium. Au delà de 10 0/0 il peut devenir nul.

Voici un tableau d'essais faits par M. Tetmayer et qui donne la résistance à la traction par millimètre carré et l'allongement pour cent.

ALLONGEMENT 0/0	RÉSISTANCE A LA TRACTION PAR mm^2	TENEUR EN ALUMINIUM
10	64 *kg*	11
9 1/2	61	19
9	58	32
8 1/2	50	52
5 1/2	42	63

Si l'alliage est martelé ou laminé, ou simplement comprimé, on augmente beaucoup la résistance à la rupture. Des essais faits sur un alliage contenant 10 0/0 d'aluminium ont donné après laminage :

Limite d'élasticité. . . . . 50 à 56 *kg* par millimètre carré;
Résistance à la traction . . 72 à 80 *kg* par millimètre carré;
et la contraction a passé de 20 0/0 à 40 0/0.

Une autre particularité des bronzes-aluminium se remarque dans la manière dont se produit l'allongement. Celui-ci se produit d'une façon sensiblement égale sur toute la longueur de l'éprouvette. Il n'y a pas, à proprement parler, de section de striction.

Ce fait est dû en partie à l'homogénéité parfaite du métal, homogénéité que possèdent les alliages d'aluminium et de cuivre, et que nous avions déjà signalée pour le bronze à 10 0/0.

Les bronzes-aluminium se travaillent sans trop de difficultés quand la teneur en aluminium ne dépasse pas 10 0/0.

A 10 0/0 et au-dessus les alliages peuvent se forger au rouge.

De 10 à 6 0/0 on peut forger jusqu'à la température de 300°.

Au-dessous de 6 0/0 le forgeage peut se faire à toute température; cependant, il est préférable de faire quelques réchauffages.

Pour le laminage et le tréfilage, on peut l'opérer au rouge pour

les teneurs supérieures à 8 0/0. Toutefois les tôles ont tendance à devenir pailleuses. Au-dessous de 8 0/0 on peut avoir facilement des tôles saines en recuisant légèrement entre chaque passage.

D'après M. Van Langhenhove, ingénieur à Haren, les alliages produits par les frères Cowles contiendraient une certaine quantité de silicium. Ce serait non plus du bronze-aluminium, mais du bronze alumino-siliceux. La teneur en silicium pourrait aller à 2 0/0.

Cet Ingénieur donne le tableau ci-dessous où sont réunis les résultats donnés par les essais mécaniques, faits sur les alliages Cowles, ainsi que la composition de ces alliages :

MARQUE	ALUMINIUM	SILICIUM	CUIVRE	CHARGE DE RUPTURE EN *kg* PAR *mm²*	ALLONGEMENT 0/0
Spécial dur A..	10 à 11	1 à 2	89 à 87	70,9 à 78,75	0 à 5
— A_1.	9	1.8	89,2	63 à 70,9	4 à 8
— A_2.	8,5	1,5	90,0	53,5 à 59,3	8 à 17
— A_3.	6,5	1,5	92	44,1 à 50,4	18 à 25
— B..	»	»	»	39,4 à 44,1	25 à 30
— C_1.	4,5	1,0	94,5	33,2 à 39,4	30 à 35
— C_2.	»	»	»	30,4 à 33,2	35 à 40
— C_3.	»	»	»	23,6 à 30,4	40 à 50
— D..	2,25	1,0	96,75	19,0 à 23,7	45 à 60
— E..	»	»	»	13,2 à 19,0	20 à 35

En comparant les résultats de ce tableau avec ceux compris dans le tableau donné par M. Tetmayer, on voit une assez grande différence. Les alliages Cowles *avec même teneur en cuivre* seraient plus durs et plus secs. L'allongement, c'est-à-dire la ductilité, serait beaucoup diminué.

La présence du silicium paraît donc introduire un peu d'aigreur.

Cette présence du silicium aurait aussi un grand désavantage, à notre avis, celui de rendre le métal plus oxydable et, en général, moins inaltérable sous l'action des gaz de l'atmosphère.

La cassure des alliages alumino-siliceux est plus grise, la teinte moins brillante est un peu jaune.

LAITON D'ALUMINIUM

Après le bronze-aluminium, il faut citer l'emploi du laiton d'aluminium, dont l'usage paraît devoir devenir de plus en plus répandu.

La teneur en aluminium de ce laiton ne dépasse guère 3 0/0, remplaçant en général une égale quantité de zinc.

Quelques centièmes d'aluminium donnent au laiton une plus grande résistance à la rupture, qui peut atteindre 40 *k* par millimètre carré, en même temps que l'allongement pour cent est très augmenté; celui-ci peut, en effet, atteindre 45 0/0 et même 50 0/0.

Comme pour les bronzes, l'alliage obtenu est moins oxydable. Il est beaucoup plus homogène, qualité très importante.

Par suite de cette augmentation de ductilité, accompagnée d'une plus grande résistance, les difficultés générales de travail du laiton d'aluminium ne sont pas plus grandes que pour le laiton ordinaire, et cela tant au point de vue du laminage et du tréfilage que du soudage.

Utilisation des alliages d'aluminium. — Le bronze et le laiton d'aluminium s'emploient surtout à la confection de pièces coulées; ce travail ne demande de précautions spéciales que pour les deux points suivants :

1° Opérer la fusion et la coulée à l'abri de l'air;

2° Tenir compte du *retrait* considérable dans la confection des moules.

Les alliages d'aluminium conservent leur propriété d'être peu oxydables tant qu'ils sont à l'état solide. Mais dès qu'ils prennent l'état liquide ils sont éminemment oxydables. L'aluminium se combine à l'oxygène. Pour s'opposer à cette oxydation, le meilleur moyen est de fondre l'alliage sous une couche de cryolithe.

Au moment de la coulée, la veine liquide présente une grande surface au contact de l'oxygène de l'air; il y a alors oxydation de l'aluminium et la pièce obtenue n'est pas saine, l'alumine formée restant mélangée à la masse. Il faut employer une poche de coulée intermédiaire avec trou de coulée sur le fond, trou de coulée qui sera bouché, pendant qu'on remplit cette poche, au moyen d'une tige de fer entourée de couches protectrices en argile réfractaire, desséchée et calcinée. Quand la poche est pleine et contient tout le métal nécessaire pour couler la pièce en une seule fois, on laisse se rassembler la scorie à la surface, ce qui se fait du reste très rapidement, puis on retire le bouchon.

Les pièces coulées en bronze-aluminium éprouvent un retrait considérable; il peut atteindre 2 0/0. Il faut avoir soin de réserver un trou de coulée d'assez grandes dimensions, autant que possible élargi à la base, de manière à avoir une masselotte assez volumi-

neuse et de placer ce trou de coulée aussi près que possible de la partie la plus massive de la pièce. On ne coulera qu'à la température la plus basse possible..

L'alliage coulé en coquille ou en sable aura des propriétés mécaniques un peu différentes, ainsi que le prouvent des essais faits à Froges. Pour les pièces coulées en coquille, on a plus de résistance à la traction en même temps que l'allongement peut s'accroître considérablement.

Dans la confection des moules il faudra bien tenir compte du retrait et, dans le cas de moules à noyaux, il faut faire ceux-ci aussi élastiques que possible. On y arrivera facilement en confectionnant les moules avec du sable bien sec, aggloméré avec du goudron ou du brai de résine, et alors avoir bien soin de laisser des évents pour le dégagement des gaz.

Autres alliages d'aluminium. — On a encore peu étudié les autres alliages où entre de l'aluminium. Il faut citer toutefois les bronzes-aluminium contenant du nickel. On aurait ainsi des alliages qui atteindraient 75 *kg* comme résistance à la rupture avec 30 0/0 d'allongement.

EMPLOI DE L'ALUMINIUM DANS LA MÉTALLURGIE DU FER

L'aluminium s'emploie en général dans la sidérurgie sous forme de ferro-aluminium. Ce produit, obtenu par les méthodes Héroult et Minet-Bernard, peut ne contenir que des traces de silicium, variables avec la teneur en silicium de la fonte employée et alliées à l'aluminium. Par le procédé Cowles, on a, en général, un ferro-aluminium très siliceux. Voici l'analyse d'un ferro-aluminium obtenu par ce dernier procédé :

Aluminium	11.42
Silicium	3.86
Phosphore	0.26
Soufre	0.03
Manganèse	0.09

Les alliages de fer et d'aluminium, dès que la teneur en aluminium atteint et dépasse 15 0/0, sont très cassants. Avec des teneurs plus faibles on a des alliages très résistants.

Le ferro-aluminium, au contraire des bronzes-aluminium, est très oxydable, surtout à l'air humide. Cet inconvénient peut être dû en partie à la présence de silicium, qui, ainsi que nous l'avons déjà dit, donne avec l'aluminium un métal très oxydable.

L'action exercée par l'aluminium sur les produits de l'industrie sidérurgique n'est pas encore connue d'une façon bien certaine. On l'ajoute, du reste, au fer sous ses trois états, fonte, acier, fer.

Emploi avec la fonte. — Une des propriétés dont jouit l'aluminium dans son emploi avec la fonte, et qui paraît primer toutes les autres, est de retarder le dégagement, à l'état de graphite, du carbone dissous, jusqu'au moment où la fonte passe de l'état liquide à l'état solide. Mais, au moment de la solidification, le carbone dissous se sépare brusquement et en plus grande quantité que sans l'adjonction de l'aluminium, et, par suite du manque de fluidité du métal, ce carbone reste réparti d'une façon homogène dans toute la masse.

Cette propriété de l'aluminium modifie d'une façon précieuse la qualité des fontes. En effet, le métal obtenu est plus homogène, à grains plus réguliers et beaucoup plus fins. La fonte est plus compacte, elle ne laisse plus transsuder les liquides sous de fortes pressions ; elle est plus facile à travailler. Sa tendance à se tremper, au moment de la coulée, diminue. Le départ instantané du carbone dissous permet aux parties les plus minces du moulage de se solidifier aussi régulièrement que les parties plus grosses.

Un autre effet, très important, de cette action de l'aluminium est la diminution du retrait. En effet, le dégagement subit du carbone dissous est accompagné d'un gonflement de la pièce qui alors remplit mieux le moule et qui, de plus, est moins soumise à des efforts de tensions intérieures.

Les croûtes, formées par l'adhérence du sable à la surface du moulage, sont supprimées ou tout au moins très diminuées, le carbone dégagé à la surface remplaçant ici très avantageusement les poudres carbonées que l'on emploie dans ce but.

Si la fonte contenait de l'oxyde de fer, celui-ci serait décomposé en abandonnant son oxygène à l'aluminium. Il en est de même de l'oxyde de carbone, ce qui supprime les soufflures et les piqûres.

Les quantités d'aluminium à ajouter sont toujours très minimes et ne dépassent guère quelques millièmes. Elles varieront nécessairement avec la nature et la qualité de la fonte et avec sa teneur en corps étrangers (silicium, phosphore, soufre, manganèse).

Jusqu'à ce jour, les tâtonnements et aussi le prix de revient

du ferro-aluminium peuvent seuls indiquer la proportion à employer.

On ajoute toujours le ferro-aluminium dans la poche de coulée et non au cubilot, non pas en gros blocs, mais en petits morceaux dont les côtés ne dépassent pas 0,05 *m*. Pour obtenir le ferro-aluminium à cet état de division, le meilleur moyen est de le chauffer à 300° et de l'étonner à l'eau froide. Avant d'être mélangé à la fonte, le ferro-aluminium est chauffé au blanc, et même fondu si cela est nécessaire. On le place alors au fond de la poche de coulée et on verse par-dessus la fonte. Le mélange se fait rapidement et d'une façon très homogène, grâce à la légèreté de l'aluminium. On laisse reposer et refroidir pendant un temps variable avec la nature de la fonte et des pièces à couler, de sorte que les scories se rassemblent bien à la surface.

Les moules doivent être bien secs; en effet, sous l'influence de la chaleur, l'eau se dégagerait à l'état de vapeur, et en traversant le métal fondu serait décomposée, il se formerait de l'hydrogène et de l'alumine : on aurait un métal sans homogénéité et très souffleux.

Emploi de l'aluminium dans l'acier. — L'aluminium ajouté à l'acier donne un métal exempt de soufflures, compact et dense. Cette action du ferro-aluminium est analogue à celle du ferro-silicium. Elle s'explique comme pour ce dernier par la grande oxydabilité de l'aluminium; mais il lui est de beaucoup préférable, car le métal obtenu n'a pas de tendance à devenir aigre, comme par l'emploi du ferro-silicium; de plus, l'alumine, très légère, remonte rapidement à la surface, et en opérant avec les soins nécessaires, il n'en reste pas trace dans le métal coulé; la dépense avec le ferro-aluminium ne paraît pas devoir être plus forte qu'avec le ferro-silicium, car il en faut des quantités beaucoup plus faibles.

L'addition d'aluminium donne un métal plus fluide; c'est à ce fait qu'il faut attribuer l'augmentation de compacité et de densité, les gaz se dégageant mieux. Le métal sera aussi plus dur et plus homogène.

Cette augmentation de fluidité résulte, à notre avis, non d'une action physique, due à la présence de l'alliage d'aluminium et de fer. On a attribué à la présence d'une aussi minime quantité de cet alliage un abaissement du point de fusion *de 300°*. Quelques dix-millièmes, au plus 10, d'aluminium, ne pourraient produire cette action et abaisser le point de fusion de plusieurs centaines

de degrés. Pour nous, l'augmentation de fluidité est due à une élévation de température et surtout à une action chimique.

Les aciers et surtout les aciers peu carburés contiennent toujours en dissolution de l'oxyde de fer, dont de faibles traces suffisent pour diminuer beaucoup la fluidité du métal. L'aluminium, très avide d'oxygène, décompose cet oxyde de fer; il en résulte, de plus, une élévation de température par suite de la grande quantité de calories dégagée dans la masse par cette oxydation de l'aluminium.

Par l'addition d'aluminium, on décomposera aussi l'oxyde de carbone qui pourrait se former et par suite on a là une nouvelle cause d'augmentation de compacité et de densité et de disparition des soufflures.

L'aluminium augmente la résistance à la rupture sous les efforts de traction; l'augmentation pourrait aller jusqu'à 10 0/0 sans que l'allongement soit diminué sensiblement. Cette action s'explique naturellement par la plus grande homogénéité du métal, ainsi que par la plus grande compacité. Le métal doit aussi mieux résister à la compression et à la flexion.

Un acier pour métal à canon a donné :

Limite élastique.	32 à 36 *kg*
Résistance à la rupture.	58 à 65 *kg*
Allongement	20 à 10 0/0
Striction	21 à 10

La quantité d'aluminium à ajouter ne doit pas dépasser 1 à 2 millièmes au plus. Pour les aciers au creuset, plus fins, il suffit de 1 à 2 dix-millièmes.

Dans le cas d'aciers Bessemer ou Martin-Siemens, on l'ajoute dans la poche de coulée après l'avoir, comme pour la fonte, réduit en petits morceaux et chauffé au blanc. Le mélange intime se fait seul, en général; dans le cas contraire, qui est indiqué par ce fait que l'aluminium vient brûler à la surface, on peut agiter avec un ringard.

Pour les aciers au creuset, on a avantage à le chauffer et même à le faire fondre dans un creuset à part et on verse par-dessus l'acier fondu. On laisse quelques minutes en contact pour permettre à l'alumine de remonter à la surface et on coule.

L'aluminium, même en faibles traces, supprime le rochage dans la coulée de l'acier.

Quand on augmente la teneur en aluminium, on augmente la dureté, mais on diminue d'une façon notable la malléabilité et la ductilité. Le métal devient de plus en plus cassant avec l'augmentation de la teneur en aluminium.

Il faut, à notre avis, pour l'emploi de l'aluminium avec les aciers et surtout avec les aciers durs, c'est-à-dire assez carburés, opérer avec beaucoup de prudence et n'en ajouter que des quantités très faibles. Il ne doit, croyons-nous, être ajouté que comme corps affinant pour décomposer l'oxyde de fer et l'oxyde de carbone. En effet, par son action spéciale sur le carbone, il pourrait modifier fortement les propriétés de trempe et de recuit de ces aciers.

En résumé, par son action sur la fluidité du métal, l'aluminium doit surtout être employé dans les ateliers pour l'obtention des moulages en acier doux tout à fait exempts de soufflures.

Emploi de l'aluminium avec le fer. — L'addition d'aluminium au fer donne à ce métal l'importante propriété de pouvoir être fondu et liquéfié aux températures obtenues normalement dans les fours de l'industrie, et permet par suite de faire des moulages en fer.

Ce métal est connu sous le nom de fer Mitis, trouvé par M. Ostberg, Ingénieur suédois.

Pour l'obtenir, il chauffe des rognures de fer dans des creusets de plombagine, au moyen d'un four chauffé au pétrole. Quand le fer devient pâteux, on ajoute au bain, suivant les cas, de 2 à 7 dix-millièmes d'aluminium à l'état de ferro-aluminium. Le métal passe à l'état liquide, pendant que la température s'élève visiblement. On peut alors le couler comme l'acier.

Le fer Mitis est très homogène, il est sans soufflures ni pailles, les gaz et les scories très légères ayant pu se dégager facilement. Il a perdu la texture fibreuse pour prendre celle du fer à grains. La résistance à la traction peut atteindre 43 *kg* avec un allongement qui peut dépasser 20 0/0. Il est aussi malléable et ductile que le fer. Il conserve sa rigidité.

Nous avons ici une nouvelle preuve que l'influence de l'aluminium sur les produits ferreux doit être attribuée non pas à un effet physique de plus facile fluidité des alliages, mais bien à l'effet chimique de la décomposition de l'oxyde de fer par l'aluminium, effet chimique qui fait disparaître cet oxyde de fer qui, mélangé, rendait le bain métallique plus réfractaire. Cette influence chimique est ici bien prouvée. Ainsi, le fer Mitis obtenu par l'ad-

dition d'une très faible quantité d'aluminium perd ses propriétés particulières quand il est travaillé à nouveau au four à puddler; ce fait est dû à ce que l'aluminium ajouté a été complètement brûlé et que, par suite, pendant le puddlage, le fer se réoxyde.

Ajouté sous forme de morceaux de la grosseur d'une noisette dans le four à puddler, au moment où le fer prend l'état pâteux, le ferro-aluminium donne un métal plus homogène et plus résistant, qui perd après corroyage sa texture fibreuse pour prendre une texture à grain. La quantité d'aluminium à ajouter, dans ce cas, est plus forte que pour le fer Mitis. Il faut 2 à 3 millièmes d'aluminium, une partie, sans doute, étant rapidement brûlée dans le four.

Ouvrages à consulter : *Revue universelle des Mines et de la Métallurgie*, année 1889, note de M. Van Langhenhove. — *Annales des Mines*, année 1889, notes de M. Jehen, de M. Kuss, de M. Lodin. *Annales industrielles*, *Génie civil*, *Moniteur scientifique*, *Comptes rendus de l'Académie des Sciences* (années 1885 à 1891).

CHRONIQUE

N° 136

Sommaire. — Les derniers jours de la machine à vapeur *(suite et fin)*. — Locomotives du tunnel de Saint-Clair. — Le chemin de fer transsibérien. — Rupture d'un volant. — Les chaudières tubulaires et le tirage forcé. — Température intérieure du sol.

Les derniers jours de la machine à vapeur *(suite et fin)*. — La théorie indique que, dans les opérations que nous venons d'indiquer, il est impossible de transformer en travail une proportion du calorique total existant dans le fluide travaillant ou à lui communiqué au cours du cycle des opérations successives plus considérable que la proportion de la chute de température éprouvée par le fluide dans son travail à la température initiale absolue de ce fluide. Dans les meilleures machines à vapeur de notre époque, cette proportion est d'environ 110 à 440, soit 25 0/0. Dans les moteurs à gaz, elle est environ le double. En d'autres termes, des considérations théoriques dont l'exactitude ne saurait être mise en doute démontrent que, même en écartant absolument toute perte de chaleur ou de travail par rayonnement, conductibilité, frottement, etc., c'est-à-dire en employant une machine à vapeur parfaite, on ne peut obtenir en travail que l'équivalent du quart de la chaleur totale contenue dans le combustible qui alimente le foyer de la machine, et qu'avec un moteur à gaz on n'obtient encore que le tiers.

En pratique, les résultats sont bien inférieurs, à cause des pertes inévitables dans les machines telles qu'elles sont réalisées matériellement. L'utilisation complète du calorique contenu dans le charbon permettrait d'obtenir un cheval-vapeur avec 1,15 *kg* de vapeur, nécessitant la combustion de 115 *g* de charbon. Or, très peu de machines à vapeur pourraient *théoriquement* dépenser moins de 4 1/2 *kg* de vapeur ou 450 *g* de charbon ; avec les pertes accessoires, ces chiffres sont notablement augmentés, et souvent l'importance de ces pertes est égale à la consommation théorique, c'est-à-dire que celle-ci se trouve doublée.

De même un moteur à gaz qui consommerait théoriquement 280 *l* de gaz par cheval-heure se trouve en dépenser, dans les meilleures conditions, au moins 560, par le fait qu'il est constitué par un cylindre métallique, c'est-à-dire susceptible d'absorber et de conduire le calorique. La forme de machine thermique qui permettra de réduire au minimum la perte due aux conditions matérielles de réalisation des moteurs, toutes choses égales d'ailleurs, est celle qui devra être préférée et qui finira par supplanter toutes les autres.

On prétend que c'est le moteur à gaz qui est appelé à cette destinée et à constituer bientôt la force motrice universelle obtenue de l'utilisation des combustibles naturels, parce que, dit-on, c'est celui qui peut réaliser la chute la plus considérable de température et permettre le plus facilement la réduction des pertes internes.

Les machines thermiques actuelles sont la machine à vapeur, le moteur à gaz et le moteur à air chaud. Ces machines ont l'avantage commun de n'employer comme fluide intermédiaire que de la vapeur d'eau

ou de l'air, qui n'ont pas de valeur pécuniaire, qu'on trouve partout et qui ne présentent aucune propriété nuisible.

La vapeur est le fluide qui emmagasine le plus de calorique ; mais l'air est celui qui permet la plus grande chute de température.

Avec la vapeur, on peut réaliser des pressions élevées qui réduisent à une faible proportion le travail consommé par les organes de la machine.

Avec l'air, on peut réaliser, grâce à l'importance de la chute de température, un rendement plus élevé ; mais les résistances propres de la machine sont plus considérables. Le moteur qui pourra réaliser à la fois de hautes températures et de hautes pressions, et produire le travail avec les poids et les volumes les plus faibles est celui qui gagnera la partie finale.

L'histoire de la machine à vapeur n'est autre que le tableau successif des améliorations apportées aux grossiers appareils de l'origine.

Les machines de Watt, qui constituaient déjà de grands perfectionnements, dépensaient 28 *l* d'eau et 4 1/2 *kg* de combustible par cheval-heure. Celles de la génération suivante, fonctionnant à des pressions de plus en plus supérieures à la pression atmosphérique, réduisirent ces consommations à 18 *kg* d'eau et 2 1/2 *kg* de charbon. L'introduction des distributions perfectionnées à déclic et autres diminuèrent encore ces chiffres à 12 *kg* d'eau et 1,5 de combustible ; enfin, les meilleures machines de l'époque actuelle peuvent réaliser un cheval-vapeur avec une consommation par heure de 6,5 à 7 *kg* de vapeur et 700 à 800 *g* de charbon.

Même avec ces chiffres si réduits par rapport aux consommations primitives, nous dépensons encore le double de ce qu'on devrait dépenser et six fois la quantité de chaleur qui correspond théoriquement au travail produit. Mais la cause des pertes qu'on peut réduire est connue aujourd'hui, et on peut espérer voir prochainement se réaliser des progrès sérieux de ce côté, tandis que l'accroissement du rendement de la machine à vapeur par l'augmentation de la chute de température reste une question beaucoup plus douteuse.

L'histoire du moteur à gaz et du moteur à air chaud présente des phases analogues. Ils remontent tous les deux à un siècle, c'est-à-dire ont le même âge que la machine à vapeur industrielle. A l'origine, le moteur à gaz dépensait 2 800 *l* par cheval et par heure. Il y a une trentaine d'années, cette consommation fut abaissée à 2 000, puis à 1 500. Il y a dix ans, elle devint inférieure à 1 000 *l* ; enfin, les meilleurs moteurs à gaz dépensent aujourd'hui 500 à 600 *l* de gaz de très bonne qualité par cheval et par heure.

De même que pour la machine à vapeur, ces réductions dans la consommation ont été obtenues par des améliorations qui ont agi sur les causes de perte du moteur lui-même, sans que le principe du fonctionnement ait été modifié. La perte de chaleur par transformation en travail est restée la même, mais on a réduit considérablement les pertes par conductibilité et par l'enveloppe à circulation d'eau indispensable, au moins jusqu'ici, pour empêcher la combustion qui s'opère à l'intérieur du cylindre de détériorer cet organe. Si on parvenait à supprimer

entièrement les pertes réductibles dans la machine à vapeur et dans le moteur à gaz, les deux appareils resteraient vis-à-vis l'un de l'autre dans la situation où ils sont au point de vue théorique.

Ceci posé, peut-on se demander lequel de ces deux moteurs, qui ont à peu près le même âge et ont passé successivement par des phases d'amélioration analogues, est celui qui a le plus fait pour l'humanité et rend le plus de services à l'heure actuelle? Quel est celui qui paraît le plus apte à réaliser le travail nécessaire aux siècles futurs et à utiliser le calorique contenu dans les millions de millions de tonnes de combustible enfouis dans les profondeurs de notre globe, pour le plus grand profit des générations qui nous succéderont?

La réponse ne saurait être douteuse. Le moteur à gaz, après avoir longtemps lutté contre des obstacles naturels et artificiels, est parvenu à actionner actuellement un certain nombre de petits ateliers et à faire une partie tout à fait insignifiante du travail industriel du monde. Il lutte avec la vapeur et lui est parfois préféré pour de très petites forces; on compte facilement les moteurs à gaz de plus de 50 chevaux. Le combustible employé par ce moteur est dispendieux, la machine est lourde et encombrante, son prix est relativement élevé. On peut admettre qu'avec un combustible plus économique et quelques améliorations, le champ dans lequel il peut lutter avec la machine à vapeur s'élargira quelque peu; mais il n'y a guère de raison de supposer qu'on puisse accroître sensiblement son rendement théorique par une élévation de la température initiale ou par un abaissement de la température finale; la suppression absolue des pertes de fonctionnement réduirait la consommation à la moitié.

Admettons cette hypothèse. On aurait donc un moteur consommant 280 *l* de gaz par cheval et par heure, et pesant, sans le producteur de gaz, 120 *kg* environ par cheval. En admettant que le gaz puisse être obtenu à un prix tel que la dépense du fait du combustible ne soit pas supérieure à la dépense équivalente de la machine à vapeur, il est bien peu probable que le poids, y compris celui du producteur de gaz, puisse être amené à se rapprocher du poids de la machine à vapeur qu'on arrive de jour en jour à réduire, puisqu'on a des exemples de machines ne pesant que 23 *kg* par cheval avec la chaudière.

Les plus enthousiastes admirateurs du moteur à gaz, même en rêvant sa substitution à la machine à vapeur, ne sauraient se flatter de voir cette substitution se faire, sauf de minimes applications, pour le transport par terre et par eau, les deux plus grandes applications de la machine à vapeur. Si nous admettons pour cette dernière quelques nouvelles améliorations, et il n'y a aucune raison de supposer que l'ère des perfectionnements dans cet ordre d'idées soit définitivement close, le moteur à gaz voit ses chances de suprématie finale encore amoindries.

Sa puissante rivale ne voit pas son cercle d'opérations limité à de misérables forces de 10, de 20, ou même de 50 chevaux. Ses applications sont grandioses.

On la voit transporter des masses de 10 000 *t* de poids mort et vivant au travers de 3 000 milles d'Océan, par les tempêtes les plus terribles, indifférente aux vagues, au vent, aux courants, à une vitesse de 20 milles

à l'heure qui se soutient pendant une semaine entière, en réalisant d'une manière continue un travail de 20 000 chevaux, travail qui, s'il était possible de l'accomplir par des animaux, exigerait la réunion de 80 000 chevaux vivants dont le poids seul serait le triple de celui du navire et de sa cargaison et qu'on ne pourrait loger que dans une cinquantaine de navires semblables. La machine à vapeur produit un travail de ce genre avec une dépense tellement faible qu'on peut l'apprécier en disant que la combustion d'un exemplaire de ce *Bulletin* suffirait pour transporter une tonne de chargement à 8 *km* à raison de la consommation de 700 *g* de combustible par cheval et par heure réalisée dans des paquebots de cette importance. La machine à vapeur pèse, dans ces conditions, 90 *kg* par cheval, poids qui descend presque au quart dans certains navires tels que les torpilleurs et les yachts rapides, mais aux dépens de l'économie du fonctionnement.

Sur terre, la machine à vapeur traine des milliers de tonnes de marchandises à des prix descendant à 0,02 *f* par tonne et par kilomètre. Elle met les champs de blé du Dakota et de l'Orégon aussi près de Boston, de New-York ou de Philadelphie que ne l'était, il y a cinquante ans, la banlieue de ces villes. Elle traverse le continent américain de l'Atlantique au Pacifique en quatre jours; elle transporte le voyageur en un seul jour de New-York à Chicago, sur une distance de 1 700 *km* avec son lit, sa table, ses effets, sa bibliothèque; elle fait encore la tâche pour laquelle elle avait été créée à l'origine, au cours du siècle dernier, en épuisant les mines qui nous fournissent le charbon, les minerais, les pierres précieuses; elle actionne les métiers pour la filature et le tissage, en un mot elle accomplit le travail mécanique du monde entier. Or, c'est précisément le moment où nous contemplons ces merveilles qu'on choisit pour nous affirmer que la machine à vapeur touche à son déclin et que dans cinquante ans elle ne sera plus qu'un objet de curiosité historique.

Qui donc peut assigner un terme aussi défini aux progrès successifs et constants réalisés depuis un siècle? Sommes-nous plus en droit de considérer la machine à vapeur comme arrivée à sa dernière expression que ne l'étaient les prédécesseurs ou même les contemporains de Watt?

Tout, au contraire, nous permet de prévoir de nouveaux progrès. Nous avons vu que les pertes réductibles de la machine actuelle doublent sa consommation. Il n'y a aucune impossibilité de principe à réaliser sur ce chapitre un bénéfice très important (1). On peut encore gagner quelque chose en augmentant la chute des températures par l'emploi de pressions encore plus élevées. Cela ne touche en rien au principe actuel de la machine à vapeur. Mais qui peut affirmer qu'on ne trouvera pas un moyen d'utiliser au moins en partie la chaleur rejetée au dehors et qui constitue actuellement une perte inévitable? La portée de cette modification serait énorme. D'autre part, par des améliorations de construction et notamment par l'augmentation de la vitesse de piston jusqu'à des limites que peut-être nous ne prévoyons pas actuellement, la machine à vapeur ne peut-elle acquérir une diminu-

(1) C'est surtout dans l'emploi de surfaces non conductrices du calorique pour les parois des cylindres et pistons que M. Thurston voit le moyen de réduire les pertes intérieures.

tion de poids et d'encombrement qui réagira sur le coût d'acquisition et sur les dépenses de service et entraînera même des applications dont nous n'avons pas l'idée en ce moment?

Ni le savant, ni l'ingénieur ne peuvent trouver d'impossibilité dans ces prévisions. Si on ne peut se flatter de voir pousser les pressions bien au delà de celles qui sont actuellement réalisées sur certaines machines, il y a dans la surchauffe de la vapeur un moyen d'accroître la température initiale jusqu'à celle où fonctionnent les moteurs à gaz. Les progrès réalisés jusqu'ici dans la réduction du poids des machines ne rendent nullement improbables des réductions ultérieures.

Qui peut dire que nous ne verrons pas bientôt des machines à vapeur dépensant 450 *g* de combustible par cheval et par heure, pesant 10 à 15 *kg* par unité de puissance, déplaçant des navires de 20 000 *tx* à des vitesses de 30 et 40 milles à l'heure, et nous faisant traverser l'Atlantique en trois jours, alors que des trains remorqués par des locomotives améliorées franchiront en deux jours la distance qui sépare l'Atlantique du Pacifique, mettant ainsi San Francisco à cinq jours de l'Europe?

Nous avons toute raison de croire que c'est bien la machine à vapeur, incessamment perfectionnée par des générations d'inventeurs, qui est destinée à utiliser pour le plus grand profit du genre humain les provisions de calorique accumulées dans les sous-sols de notre globe sous forme de combustibles fossiles, jusqu'au jour encore bien éloigné où l'épuisement complet de cette source universelle du travail industriel obligera l'homme de cette époque à recourir directement comme suprême ressource à la chaleur solaire.

Locomotives du tunnel de Saint-Clair. — Les établissements Baldwin viennent de construire pour le Grand Trunk Railway du Canada des locomotives qui sont probablement les plus fortes qui aient jamais été construites. Ce type désigné sous le nom de « Decapod Tank Freight » est destiné à faire le service du tunnel de Saint-Clair qui comporte à chacune de ses extrémités près de 1 500 *m* d'inclinaisons de 20 pour 1 000.

On sait que ce tunnel (voir *Chronique* de janvier 1889, page 138, et décembre 1889, page 766) est établi sous la rivière Saint-Clair à sa jonction avec le lac Huron et relie le Grand Trunk of Canada aux chemins de fer du Michigan; il a 1 830 *m* de longueur; avec les rampes d'approche, la longueur totale est de 3 220 *m*.

Ces locomotives sont des machines tenders à cinq essieux accouplés, sans aucun essieu porteur, fait assez rare en Amérique. Les caisses à eau sont sur les côtés, et le cab du mécanicien est au-dessus au milieu de la longueur.

Les cylindres de ces locomotives ont 0 558 *m* de diamètre et 0 712 de course. Les roues ont 1 270 de diamètre.

Les première, seconde, quatrième et cinquième paires ont des boudins, la troisième n'en a pas et ses bandages sont plus larges que les autres, ils ont 0 150 *m*. Les première et cinquième paires ont 25 *mm* de jeu avec les rails, les deuxième et quatrième 18 *mm* seulement.

Les bandages en acier Otis sont fixés avec le dispositif Mansell (anneau de sûreté).

La chaudière qui travaille à 160 *l*, soit 11,5 *kg*, a un diamètre de 1 872 *m*, elle est en tôle d'acier de 16 *mm* seulement d'épaisseur, assemblée à double rang de rivets et couvre-joints pour les rivures longitudinales. Ce corps cylindrique renferme 281 tubes en fer de 57 *mm* de de diamètre et 4 117 *m* de longueur, représentant une surface de chauffe tubulaire de 192 m^2.

La grille a 1,07 × 3,30, soit 3,5 m^2 de surface. On peut estimer que la surface de chauffe totale atteint 205 m^2. Le foyer contient une voûte et son ciel est entretoisé avec l'enveloppe par des tirants verticaux de 25 *mm* dont les têtes sont rivées aux deux extrémités. La grille destinée à brûler de l'anthracite est formée de tubes à circulation d'eau. L'écartement total des essieux est de 5,62 *m*, ce qui a nécessité les tempéraments que nous avons signalés plus haut. La chaudière est alimentée par deux injecteurs Friedmann ; les caisses à eau contiennent 8 000 *l* d'eau et la machine peut porter 3 000 *kg* de charbon. Son poids, avec les approvisionnements complets, atteint 88 300 *kg*, ce qui fait une charge moyenne par essieu de près de 18 *t*. La voie, à l'écartement normal, est établie en rails de 50 *kg* par mètre courant.

Pour amener les machines jusqu'à la station où elles doivent fonctionner, on a dû démonter le cab, les caisses à eau, le mécanisme et toutes les pièces qu'on a pu, pour ramener la charge par essieu à celle que les voies ordinaires peuvent supporter sans inconvénient.

Le *Railroad Gazette* considère cette charge par essieu comme la plus forte qui ait été réalisée sur un chemin de fer et ce type de machines comme le plus puissant qui ait été construit dans ces conditions.

La machine est garantie pour remorquer une charge de 760 *t* de 1 015 *kg* sur rampe de 0,20 *m*, ce qui représente un effort de traction, au crochet d'attelage de la machine, de 17 730 *kg*, en prenant une résistance de 3 *kg* par tonne en palier. Si on ajoute 2 024 *kg* pour la résistance de la machine, calculée au même taux que celle du train, on trouve un effort total de traction de 19 754 *kg*. L'effort de traction du train, seul, représente environ le cinquième du poids maximum de la machine. C'est admissible. La machine est, d'ailleurs, munie de deux sablières, une à chaque extrémité, pour assurer la marche dans les deux sens.

Ce qui est moins admissible, c'est l'effort de traction lui-même. En effet, l'effort théorique $p \frac{d^2 l}{D}$ est égal, avec les données que nous avons indiquées plus haut, à 19 707 *kg*, c'est-à-dire un peu inférieur à l'effort nécessaire pour déplacer le train et la machine sur la rampe de 20 p. 1 000. Il ne serait donc rien prévu pour les pertes de pression résultant de la distribution de la vapeur dans les cylindres et pour la résistance du mécanisme qui doit être importante dans une locomotive de ce genre. Nous ne pouvons attribuer cette anomalie qu'à des erreurs dans les chiffres rapportés au sujet de cette machine par les journaux américains.

Voici, d'après eux, un tableau donnant les plus puissantes locomotives construites depuis dix ans, auxquelles nous avons cru devoir ajouter trois autres types également très puissants construits récemment en Europe.

LIGNES sur lesquelles fonctionnent LES MACHINES	CONSTRUCTEURS	TYPE DE MACHINES	DATE de la CONSTRUCTION	NOMBRE D'ESSIEUX MOTEURS	NOMBRE D'ESSIEUX TOTAL	NOMBRE et DIAMÈTRE DES CYLINDRES	COURSE des PISTONS	DIAMÈTRE des ROUES MOTRICES	POIDS ADHÉRENT	CHARGE moyenne DES ESSIEUX MOTEURS
Central Pacific. . . .	J. Stevens	Gobernador	1884	5	7	2 534	661	1 442	55 000	11 000
Brésil.	Baldwin	Decapod	1885	5	6	2 558	661	1 138	58 000	11 600
Mersey tunnel. . . .	Beyer Peacock	Machine tender	1886	3	5	2 534	661	1 400	52 400	17 400
Philadelphia-Reading	Baldwin	Consolidation	1888	4	5	2 558	712	1 260	62 500	15 500
Baltimore-Ohio . . .	—	—	1889	4	5	2 534	661	»	51 000	12 800
Northern Pacific. . .	—	—	1889	4	5	2 558	712	1 260	61 000	15 300
Saint-Clair tunnel. .	—	Machine tender	1891	5	5	2 558	712	1 260	88 000	17 600
Mexican Ry.	Neilson	Fairlie.	1889	6	6	4 406	560	1 068	92 000	15 300
Central Suisse. . . .	Maffei	Comp. artic. Mallet	1891	4	4	4 355-550	640	1 280	60 000	15 000
Gothard.	—	—	1891	6	6	4 400-580	640	1 230	85 000	14 200

Le chemin de fer transsibérien. — Le célèbre voyageur asiatique H. Moser a publié, dans le *Journal de Genève* des 22 et 23 avril, un article sur le grand projet du chemin de fer transsibérien appelé à rejoindre par une voie ferrée les deux océans, en reliant le réseau russe au port de Wladiwostok. L'intérêt de cet article nous engage à le reproduire.

Le projet grandiose du chemin de fer transsibérien est déjà ancien, il date de plus de vingt ans ; mais, depuis la construction du Pacifique Canadien, le gouvernement russe a fait procéder à une étude approfondie du tracé. A son tour, le constructeur du Transcaspien, le général Michel Annenkoff, s'est occupé de la question et vient de soumettre à son gouvernement un rapport dont sont extraits les renseignements suivants qui paraissent, vu la haute importance du sujet, mériter d'être connus en Europe.

Des considérations nombreuses d'ordre stratégique et politique, aussi bien que d'ordre économique, militent en faveur de la construction d'un chemin de fer transsibérien.

On sait que le Céleste-Empire a, dans le cours de ces dernières années, rassemblé des forces considérables en Mandchourie. En un jour, la Chine pourrait jeter au delà de la frontière cent mille réguliers précédés d'une horde de pillards qui anéantiraient jusqu'au dernier les colons sibériens bien avant que les troupes russes aient pu arriver à leur secours.

Les efforts des puissances rivales pour attirer la Chine dans leur sphère d'influence, les réformes qu'elles ont fait introduire dans son armée, la construction de nouvelles lignes de chemins de fer, tout indique qu'au cas où la Russie serait entraînée dans une guerre européenne, elle se verrait attaquée par derrière, sur l'océan Pacifique, et que le point d'attaque serait l'important port militaire de Wladiwostok, fortifié et mis en état de défense au prix des plus grands sacrifices. Aujourd'hui, pour aller à Wladiwostok, il faut s'embarquer à Odessa et faire le tour de l'Asie. Il serait donc urgent de relier un point stratégique de cette importance au centre de la Russie, afin de pouvoir y faire parvenir rapidement, en cas de besoin, des vivres, des munitions et des soldats.

Le chemin de fer projeté est destiné à appeler à une nouvelle vie un pays immense, habité par cinq millions d'hommes aujourd'hui presque entièrement séparés du monde civilisé, avec lequel ils ne peuvent communiquer que par la ligne télégraphique installée il y a quelques années. Une lettre met un an pour parvenir de Moscou dans la Sibérie orientale quand elle ne s'égare pas en route, ce qui est généralement le cas. Il est des contrées où on ne trouverait pas de pain à prix d'or ; les famines y sont fréquentes et terribles ; les colons paraissent y retourner à l'état sauvage.

La Sibérie est pourtant un pays d'une grande richesse, mais dont toutes les ressources ne sont pas encore exploitées, faute de bras et surtout à cause du défaut presque complet de moyens de communication. Il y a bien un courant constant d'émigration du centre de la Russie en Sibérie, mais, dans ce pays perdu, l'homme privé des instruments nécessaires, dépourvu de toutes ressources, succombe souvent dans une lutte trop rude pour l'existence. La zone des terres noires, qui s'étend

sur une largeur de 150 à 400 *km* entre la steppe et les marais glacés du nord, est cependant une contrée des plus fertiles et qui pourrait facilement nourrir une population dix fois plus considérable. On voit quelle réserve aura là la Russie lorsqu'elle pourra ouvrir cet immense pays à l'émigration régulière.

L'absence de voies de communication a jusqu'à présent entravé également le commerce direct de la Russie avec la Chine. Le Céleste Empire importe aujourd'hui par voie de mer pour plus de 350 millions de francs d'objets manufacturés, de charbon, de farine, de sucre et de produits européens. On espère qu'après la construction du transsibérien, la moitié de ces marchandises pourront être exportées par la Russie ou tout au moins d'Europe par les lignes russes. De même pour le Japon.

Mais c'est surtout sur le thé que l'on compte pour grossir les recettes de la nouvelle ligne. Au tableau approximatif des revenus probables, on a prévu, sur une somme totale de 56 millions de roubles en chiffres ronds, 4 millions pour les voyageurs, 7.7 millions pour le commerce sibérien, 17 pour le transit et 24 pour le thé. En effet, pour cette denrée, la rapidité du transport est de première importance. De Shang-Haï à Londres le trajet est actuellement de quarante-quatre jours par le canal de Suez et de trente-quatre jours par le chemin de fer du Canada ; il ne serait que de vingt jours par le transsibérien. En outre, par voie de terre, les primes d'assurance sont moins fortes.

Ainsi la construction du transsibérien a pour la Russie une importance capitale. Grâce à cette ligne, elle prendrait la place d'intermédiaire entre l'Europe et l'extrême Orient; le centre du pays serait relié avec une province actuellement dépourvue de moyens de défense ; on pourrait arriver à régler le courant de colonisation qui se fait sentir déjà dans certaines parties de l'empire, le détourner de l'Amérique pour le diriger sur la Sibérie; cette ligne enfin, loin d'être onéreuse pour le budget de l'État, parait appelée à donner des bénéfices immédiats.

Des études préliminaires entreprises par les soins du gouvernement ont amené la présentation de deux projets concurrents :

1° Une ligne stratégique en tronçons, servant à relier les cours d'eau navigables, de Tomsk à Irkoutsk, de Maïssovaia à Srictiensk, de Grasskaia à Wladiwostok, le tout sur une longueur de 2 952 verstes. Le coût serait de 120 millions de roubles. Une ligne semblable ne répondrait pas au but qu'on se propose, vu que, dans les conditions les plus favorables, les communications seraient interrompues pendant sept mois sur douze par les glaces qui arrêtent la navigation. D'autre part, elle ne pourrait servir au transit et, le commerce intérieur de la Sibérie étant insignifiant, son importance au point de vue économique serait nulle.

2° Une ligne de transit de Tscheliaba à Wladiwostok, d'une longueur totale de 7 198 verstes. Tscheliaba est le centre du district minier et manufacturier du sud de l'Oural, dernièrement relié à Samara par une ligne passant par Oufa et Zlataoust.

On y trouve d'abondants gisements de houille et des fabriques de rails de chemins de fer en pleine activité. Cette ligne de transit a donné lieu à deux projets : l'un émane du ministère des travaux publics, l'autre est celui du général Annenkoff.

Suivant le premier de ces projets, la construction du transsibérien exigerait trente-deux ans et un capital de 480 millions de roubles ; un consortium à la tête duquel est placé le général Annenkoff se fait fort de mener cette entreprise à bien *en quatre ans et moyennant 300 millions de roubles*, à raison de 40 000 roubles par verste. Le chemin de fer transcaucasien a coûté 160 450 roubles par verste, le chemin de fer Catherine 76 466 roubles, le Samara-Oufa 52 586 roubles, l'Oufa-Zlataoust 67 700 et le Transcaspien construit par le général Annenkoff 30 000 roubles par verste.

Si la construction d'une ligne dont l'utilité est à ce point évidente a été si longtemps ajournée, c'est qu'elle paraissait présenter des difficultés insurmontables : contrées où le sol est éternellement congelé, larges fleuves dont les débâcles sont terribles, berges mouvantes de terre glaise, vastes régions marécageuses, chasse-neiges qui menacent d'engloutir les remblais de la voie, etc.

On sait que le constructeur du Transcaspien n'est pas homme à se laisser arrêter par de semblables difficultés ; il reste à exposer de quelle façon il entend les surmonter.

(A suivre.)

Rupture d'un volant. — Il n'est pas rare de voir des volants formant poulies à gorges pour transmissions à cordes marcher à des vitesses qui vont jusqu'à 35 *m* par seconde. Ces vitesses sont exagérées et amènent par la force centrifuge des efforts qui, avec les tensions initiales provenant de la construction, donnent lieu à des dangers très sérieux.

Une rupture de ce genre est survenue le 30 janvier dernier dans la filature de Oldham et Lees à la suite de circonstances singulières, mais qui peuvent cependant se présenter quelquefois. Voici les faits d'après l'*American Engineer :*

La machine qui commandait ce volant était une machine compound avec deux cylindres, l'un de 0,822 *m* de diamètre, l'autre de 1,265 *m* avec course de 1 525 *m*, actionnant des manivelles à angle droit. Le nombre de tours normal était de 62 par minute. La puissance était transmise par une poulie-volant de 7,625 *m* de diamètre et de 1,980 *m* de largeur, dont la jante formait deux parties : l'une lisse recevant une courroie de 0,915 *m* de largeur, l'autre à gorges recevant 15 cordes de 45 *mm* de diamètre.

La jante était en douze segments correspondant à autant de bras. Le poids total du volant atteignait environ 44 *t*. On voit par les données précédentes qu'au nombre de tours normal, la vitesse à la circonférence était déjà de 24,74 *m* par seconde.

Le matin de l'accident, le mécanicien étant malade, la machine fut mise en route par un aide et le chauffeur. L'aide, quoique attaché depuis plusieurs années au service de la machine ne l'avait jamais mise en train. La manivelle du cylindre à haute pression se trouvant au point mort, la machine ne put pas partir et, pour la décider, l'un des deux agents ouvrit sans précaution un robinet amenant directement la vapeur de la chaudière au cylindre à basse pression. La machine partit avec

une extrême violence et atteignit presque instantanément une telle vitesse que la poulie vola en éclats qui renversèrent le mur et la toiture et démolirent la plus grande partie de la machine.

Qu'avait fait le régulateur dans tout cela, car il y en avait un et même avec un dispositif de sûreté destiné à prévenir l'emballement de la machine? Le manchon de ce régulateur avait une course totale de 164 *mm* dont 100 à 120 correspondait à la marche courante et le reste devait parer à une augmentation excessive et anormale de la vitesse. Malheureusement cette partie qui ne servait jamais se trouvait encrassée à tel point que le manchon ne pouvait dépasser le point extrême de la vitesse normale.

L'enquête démontra qu'il fallait exercer un effet de 350 *kg* pour faire avancer le manchon de 0,02 *m* sur la tige du régulateur.

Cet accident est dû d'abord à une disposition vicieuse du robinet auxiliaire qui, manœuvré imprudemment, a permis à la pression entière de la chaudière de s'exercer sur le piston du cylindre à basse pression et ensuite au mauvais état d'entretien du régulateur qui a fait que le dispositif de sûreté a manqué au moment où il devait agir. C'est trop souvent ce qui arrive avec les appareils qui ne fonctionnent que très rarement et dont l'état n'est pas vérifié continuellement.

Les chaudières tubulaires et le tirage forcé. — M. A. F. Yarrow, le constructeur bien connu de torpilleurs, a lu, le 19 mars dernier, devant l'*Institution of Naval Architects*, un mémoire des plus intéressants sur les précautions à prendre dans la construction et l'usage des chaudières destinées à fonctionner avec tirage forcé. La pratique étendue de l'auteur donne une grande valeur à ces indications.

M. Yarrow débute par conseiller une grande perfection dans la construction et des matières irréprochables. La moindre négligence sous ces deux rapports amène des difficultés. Il ne faut pas perdre de vue qu'avec les pressions plus élevées et le tirage forcé les chaudières travaillent dans des conditions beaucoup plus dures et que des pratiques qui pouvaient être suffisantes il y a quelques années ne le sont plus aujourd'hui.

Pour ce qui concerne les tubes, on ne saurait jamais les prendre trop bons. Les bons tubes sont ceux qui sont de la matière la plus ductile; ils doivent être soigneusement recuits à leurs extrémités et pouvoir s'aplatir et se cintrer sans se fendre. Ils doivent être droits ou, s'ils sont légèrement cintrés, comme on le fait quelquefois, ils doivent l'être tous de la même manière, pour que les intervalles entre eux soient égaux, et qu'ils aient tous le même degré d'élasticité et puissent, par suite, prendre une part égale de l'effort qui agit pour écarter les plaques tubulaires. Les tubes doivent avoir une épaisseur bien uniforme aux extrémités, dans la partie où on les mandrine; il ne doit pas y avoir de surépaisseur à l'endroit de la soudure, autrement le mandrinage ne se fait pas également et le travail laisse à désirer.

L'extérieur aux extrémités doit être propre et exempt d'oxyde, pour que le contact avec la plaque se fasse métal contre métal. Les fournisseurs livrent souvent les tubes avec les extrémités polies et graissées pour éviter la rouille; il faut avoir soin d'enlever cette graisse, de même

que l'huile qui reste dans les trous des plaques tubulaires après le perçage; autrement il reste interposé une pellicule de matière grasse entre les surfaces après le mandrinage des tubes, ce qui doit diminuer l'adhérence.

Dans la pratique usuelle, les trous de la plaque tubulaire sont percés cylindriques et on mandrine le tube avec un mandrin qui produit une surface conique. Dans aucune autre partie de la construction des machines on ne penserait à mettre un axe conique dans un trou cylindrique. Si le trou de la plaque est percé cylindrique, on devrait employer un mandrin qui dilaterait le tube tout en le laissant cylindrique, ou, si on emploie un mandrin conique, il faudrait que les trous de la plaque fussent percés avec la même forme, pour que le tube et la plaque soient en contact dans toute l'épaisseur de celle-ci. Si on ne prend pas l'une ou l'autre de ces dispositions, le contact des deux parties dépendra du travail du chaudronnier; il variera d'un tube à l'autre, et on ne pourra compter sur rien de régulier.

L'auteur présente comme spécimen de cette manière d'opérer un tube mandriné d'une façon qui se rencontre souvent dans la pratique. Sur un des côtés il n'y a pas de contact entre le tube et la plaque. Cet effet est dû en partie au mandrinage conique pratiqué avec un trou cylindrique, et en partie aussi à ce que le mandrinage n'a pas été assez avant. Il faut faire attention que les galets de l'appareil à mandriner puissent dépasser la plaque de manière à dilater le tube, non seulement dans toute l'épaisseur de la plaque tubulaire, mais encore un peu au delà. On obtient ainsi d'abord un contact parfait entre le tube et la plaque, puis, au delà de celle-ci, un léger épaulement qui retient le tube et empêche le glissement des surfaces, lorsqu'il se produit un retrait des plaques tubulaires. On néglige trop souvent cette précaution et on laisse l'ajustement du mandrin par rapport au tube à l'arbitraire de l'ouvrier.

L'auteur emploie dans ses ateliers un appareil dont les galets ont les arêtes parallèles sur une longueur légèrement supérieure à l'épaisseur de la plaque tubulaire, puis ils sont un peu renflés au delà de chaque côté, de manière à déterminer la formation d'un épaulement sur le tube en dedans et en dehors de la plaque. On obtient ainsi un excellent résultat, et le tube ne peut pas glisser dans le trou de la plaque, étant invariablement maintenu dans celui-ci. La formation d'un épaulement est en tout cas désirable du côté intérieur.

Au London and North Western, aux ateliers de Crewe, on emploie un mandrin spécialement destiné à réaliser cet effet; de même aux ateliers Baldwin, à Philadelphie; et dans beaucoup de chemins de fer on obtient le même résultat en réduisant le diamètre des tubes dans la partie où ils s'engagent dans la plaque tubulaire, ce qui produit le même effet que la formation du bourrelet susmentionné.

La possession d'un bon outil à mandriner ne dispense pas de précautions spéciales pour la pose des tubes. Le chaudronnier chargé de cette pose s'installe d'abord aussi confortablement que possible dans l'intérieur du foyer et commence son travail par un coin, en mandrinant tous les tubes qu'il peut atteindre sans changer de place. Cette pratique est vicieuse; si on mandrine successivement un grand nombre de tubes

voisins, on crée dans la plaque des efforts locaux considérables, par suite de l'extension qu'on lui fait subir partiellement. Il est préférable de mandriner trois ou quatre tubes seulement au même endroit et de passer ensuite à une place un peu distante, de manière à soumettre la plaque tubulaire d'une manière aussi uniforme et graduelle qu'il est possible aux tensions que lui fait subir la pose des tubes.

On a conseillé de visser les tubes dans les plaques, pour leur donner plus d'étanchéité. Ce procédé, que l'auteur a dû abandonner après l'avoir essayé, ne remédie pas à la cause du mal et donne lieu à de grandes difficultés lorsqu'on est obligé de détuber une chaudière. On met quelquefois une bague de cuivre mince autour des extrémités des tubes en fer ou en acier, pour faire le joint avec la plaque ; on réussit quelquefois ainsi à empêcher les fuites autour des tubes. Cela tient probablement à ce que le cuivre se dilate plus que le métal avec lequel il est en contact et tend, à chaud, à boucher les interstices qui pourraient exister dans les joints.

L'auteur n'est point partisan des tubes tirants et ne les emploie plus depuis plusieurs années. D'abord, ces tubes doivent nécessairement être plus épais que les autres et ont dès lors moins d'élasticité, ce qui est contraire au principe d'égalité qui a été posé plus haut. Si on tient à employer des tubes tirants, on doit leur donner la même épaisseur qu'aux autres et les faire du même métal, en les renforçant seulement dans les extrémités par lesquelles on les visse dans les plaques tubulaires.

M. Yarrow a fait un certain nombre d'expériences pour constater la résistance que présentent à l'arrachement des tubes fixés dans les plaques tubulaires à la manière ordinaire. Il a trouvé qu'un tube de 50 *mm* de diamètre fixé dans une plaque en acier présente une résistance de 8 à 12 *t*. Dans un foyer de torpilleur du type ordinaire, à la pression de 14 *kg* par centimètre carré, l'effort total qui tend à écarter les plaques à tubes est de 124 *t*. Les 288 tubes, à 8 *t* par tube, présenteraient une résistance totale de 2 304 *t*, soit près de 20 fois ce qui est nécessaire. On voit donc que les tubes tirants ont peu de raison d'être. A quelques rares exceptions près, les Ingénieurs de locomotives en Angleterre et en Amérique n'en sont pas partisans.

En ce qui concerne les bagues, leur emploi ne paraît avoir que peu de rapport avec la question des fuites aux tubes. Si ces fuites existent à des tubes non bagués, ce n'est pas, en général, l'addition de bagues qui les fera disparaître. Elles ne s'attaquent point à la cause même du mal. On peut les employer avec avantage pour les tubes les plus rapprochés du feu parce qu'elles opposent, par la réduction de section qu'elles amènent, une résistance à l'introduction de la flamme et rendent plus uniforme le passage des gaz chauds dans toute l'étendue du faisceau tubulaire. Bien que l'auteur ait cru à différentes reprises devoir faire allusion aux chaudières de locomotives, il ne voudrait pas que les personnes peu familières avec ces questions puissent en conclure que la chaudière de locomotive est applicable à la marine sans des modifications importantes. Il est certain que, rien que pour l'alimentation, la différence est énorme ; l'eau qui passe presque indéfiniment dans un condenseur à surface devient, quoi-

que distillée, un liquide qui n'a rien de commun avec l'eau à peu près pure avec laquelle on alimente les locomotives. L'exemple des chaudières de ces dernières ne doit donc être invoqué dans la question qui nous occupe que dans une mesure très modérée.

On doit apporter beaucoup d'attention dans la disposition des lames d'eau qui séparent le foyer de son enveloppe, au point de vue de la liberté de dilatation à laisser au premier.

En 1878, les ateliers Yarrow construisirent un torpilleur pour un gouvernement étranger et on ne fit pas moins de huit essais dont chacun fut interrompu par des fuites abondantes par les tubes. Pour rechercher ce qui se passait dans la région de la plaque tubulaire, on enleva la rangée de tirants verticaux et la rangée d'entretoises horizontales les plus rapprochées de la plaque tubulaire. Ces tirants et entretoises furent remplacés par d'autres traversant les tôles de l'enveloppe par un presse-étoupes et terminés par un écrou extérieur. Cette disposition permettait au tirant de résister par traction aux efforts agissant sur la boite à feu, sans s'opposer à la dilatation de celle-ci. Le résultat de l'expérience fut des plus intéressants. Lorsqu'on poussait le feu, on voyait les tirants s'allonger dans les presse-étoupes et les écrous se séparer de ceux-ci, d'une distance suffisante pour qu'on pût y passer une pièce de cinq centimes. Chaque fois qu'on ouvrait la porte du foyer, ce qui amenait un abaissement de la température, les tirants se contractaient et les écrous venaient reposer sur les presse-étoupes. La pose de nouveaux tirants supprima entièrement les fuites et le bateau fut reçu sans difficulté.

Il peut être dangereux de tirer une conclusion d'un fait isolé, mais il est plus que probable que la disposition primitive des tirants était la cause des fuites des tubes ; on comprend, en effet, qu'une plaque tubulaire, déjà affaiblie par les nombreux trous dont elle est criblée, n'est pas apte à supporter des efforts considérables exercés de champ. Ces efforts tendent à la déformer et à ovaliser les trous. Une plaque tubulaire devrait n'avoir aucun effort de ce genre à supporter et être aussi libre que possible de se prêter aux dilatations et contractions amenées par les variations de température. Pour réaliser, approximativement au moins, ces conditions, il est bon de ne pas mettre la première rangée des tirants à moins de 17 *cm* de la plaque tubulaire et même, dans les chaudières de grandes dimensions, ces tirants devraient être disposés de manière à avoir une certaine liberté de mouvement.

On doit, dans le même ordre d'idées, donner à une chaudière le moins de rigidité possible. Les pinces rabattues de la plaque tubulaire doivent avoir le moins d'épaisseur possible, d'abord pour donner à la plaque un peu d'élasticité et ensuite pour éviter une trop grande épaisseur au point de vue de la transmission du calorique. Les lames d'eau doivent être aussi grandes que possible, autrement on a des fuites par les entretoises et des ruptures de celles-ci. Pour obtenir plus d'élasticité, on emploie avec avantage une disposition qu'on rencontre quelquefois sur les chaudières de locomotives, consistant à réduire le diamètre des entretoises entre le foyer et l'enveloppe. On est assuré dans ce cas que la flexion des entretoises amenée par la dilatation du foyer ne s'opère que dans l'inter-

valle de la lame d'eau et non dans les tôles elles-mêmes; ce dernier cas amenant inévitablement des fuites.

(A suivre.)

Température intérieure du sol. — Dans une saline de Bohême, on a constaté, dans un sondage de 130 *m* de profondeur, que la température du sol augmentait de 1 degré centigrade par 32,07 *m*. L'administration royale des mines de Prusse a fait faire récemment des constatations du même genre dans cinq des plus profonds sondages, et on a obtenu les résultats ci-dessous :

	Profondeurs	Élévation du 1° pour
Schladebach, près Merseburg. .	6 *m* à 1 716	36°,38
Sennewitz, près Halle.	754 à 1 080	36°,66
Lieth, près Altona.	426 à 1 259	35°,07
Sudenburg, près Magdebourg. .	30 à 568	32°,36
Sperenberg, près Berlin.. . . .	220 à 1 066	32°.

La moyenne serait de 34,49. Ces chiffres s'écartent peu de ce qu'on admettait généralement, 30 à 35 degrés, selon les localités.

COMPTES RENDUS

SOCIÉTÉ D'ENCOURAGEMENT POUR L'INDUSTRIE NATIONALE

Avril 1891

Rapport de M. L. Appert sur deux **Systèmes de portes roulantes**, présentés par M. Saint-Ange Vivier et par MM. Bricard frères.

Les portes roulantes sont très employées parce qu'elles tiennent peu de place et fatiguent moins que les portes à développement, mais elles présentent dans la pratique de nombreux inconvénients.

Ces portes reposent généralement sur des galets dont on est obligé de graisser les axes. Au bout de quelque temps, ces organes s'usent et cessent de fonctionner convenablement.

Dans les systèmes présentés, les galets, au lieu d'être fixés, sont indépendants et leurs axes roulent eux-mêmes dans la fente d'une platebande longitudinale, fente de longueur calculée suivant le déplacement de la porte. Cette ingénieuse disposition transformant le frottement des axes des galets en roulement, supprime le graissage et l'usure et réduit notablement l'effort à exercer pour manœuvrer les portes.

Rapport de M. A. Tresca sur deux **Appareils à percer les métaux**, de M. Theureau.

Dans ces appareils, on utilise le mouvement alternatif d'un levier ou d'un archet pour obtenir un mouvement de rotation continu de la mèche à percer, mais au moyen de dispositions nouvelles qu'il serait difficile de faire comprendre sans l'aide des figures qui accompagnent le rapport.

Rapport de M. C. Lavollée sur divers ouvrages relatifs à l'Exposition universelle de 1889 : **L'Exposition universelle**, par H. de Parville. — **L'Exposition universelle**, par Léon Malo. — **Les Expositions de l'État au Champ-de-Mars et à l'Esplanade des Invalides**, par la *Rédaction du Journal officiel*, sous la direction de M. L. Jezierski.

Discours prononcé à l'occasion des obsèques de M. le colonel Goulier, par M. le colonel Pierre, membre du Conseil.

Procédé de soudure du verre et de la porcelaine avec les métaux, par M. Cailletet.

On recouvre la partie du verre ou de la porcelaine qui doit être soudée avec une couche mince de platine métallique, ce qui s'obtient en enduisant la pièce au moyen d'un pinceau de chlorure de platine mélangé

d'huile essentielle de camomille. On chauffe lentement, puis plus fort, jusqu'au rouge sombre. Une fois le dépôt de platine obtenu, on dépose par voie galvanique du cuivre qui se trouve parfaitement adhérent si l'opération a été bien conduite. La pièce ainsi cuivrée peut être soudée à l'étain à un métal quelconque, cuivre, fer, etc. M. Cailletet a fermé par ce procédé l'extrémité d'un tube à liquéfier les gaz qui résiste à des pressions de plus de 300 atmosphères.

Production des sucres en Russie en 1888-89 (Extrait de l'*Économiste russe*).

Bibliographie.

Programme des prix proposés par la Société d'Encouragement à décerner dans les années 1891 à 1896.

SOCIÉTÉ DE L'INDUSTRIE MINÉRALE

Réunions de Saint-Étienne

Séance du 7 mars 1891.

Dromographe La Roulle. — Il est présenté un graphique relevé par cet instrument installé sur le ventilateur du puits Bardot, de la Société des Houillères de Saint-Etienne, dont la machine fonctionne à 94 tours par minute. Cette vitesse régulière correspond à une droite inclinée de 23° sur le rayon. Le papier, tracé pour 12 heures, peut servir pour 24, car les deux circonvolutions ne peuvent coïncider.

Allumeur de sûreté de la maison Davey, Bickford, Smith et C°.

M. Chansselle appelle l'attention de la réunion sur l'ingénieux allumeur de sûreté de la maison Davey, Bickford, Smith et C^ie^, de Rouen. Cet allumeur est formé d'un tube en cuivre dont on coiffe le bout extérieur de la mèche de sûreté sur laquelle on la serre au moyen d'une pince. Dans ce tube se trouve une ampoule en verre contenant une goutte d'acide sulfurique, qui, à la rupture de l'ampoule, se trouve en contact avec un morceau de chiffon imbibé d'une solution de chlorate de potasse et détermine la production d'une flamme qui allume la mèche.

On écrase l'ampoule en serrant le tube de cuivre au point voulu avec une pince. Le prix de l'allumeur est de 12 *f* le cent. Ces appareils paraissent devoir présenter une grande sécurité dans les mines grisouteuses ou poussiéreuses.

Communication de M. Lanfrey sur les **Explosifs Favier.** Les explosifs Favier, appelés communément poudres de sûreté, sont fabriqués en France par l'État, pour le compte de la Société propriétaire des brevets; ce sont de simples mélanges de nitrate d'ammoniaque et d'hydrocarbure nitrés ou non; tandis que, dans les explosifs nitrés, il y a combinaison entre les éléments, ce qui donne une sensibilité constituant un

danger sérieux. Il résulte de cette différence en faveur des premiers une sécurité considérable dans la préparation et l'emploi. Il est fabriqué cinq types de ces poudres, parmi lesquelles la *grisounite* qui n'enflamme pas les poussières de charbon, ainsi qu'il a été constaté aux mines de Blanzy.

La note donne, d'après M. Vieille, ingénieur des poudres et salpêtres, le calcul des chaleurs de formation des différentes naphtalines nitrées qui entrent dans la composition des explosifs Favier, et le calcul des températures de détonation, d'après la formule de MM. Mallard et Le Chatelier.

Note de M. A. Bergaud sur la **Diminution des eaux souterraines aux mines de Bruay.**

Les mines de Bruay, dans le Pas-de-Calais, avaient en 1875 deux puits, dont l'un avait une production d'eau à peu près constante et l'autre une production allant constamment en augmentant. En 1880, un nouveau puits fut mis en service et accrut encore le volume d'eau à épuiser.

En 1890, on était arrivé à extraire par jour 7 000 m^3 d'eau pour 3 000 t de charbon. Après beaucoup de recherches, on finit par reconnaître que la plus grande partie de cette eau pouvait provenir d'anciens sondages faits par les premiers explorateurs de la concession. On constata qu'une faille affectant le terrain houiller et venant rencontrer le tourtia rempli de poches et de vides, servait de canal et mettait en communication directe la nappe aquifère avec les travaux souterrains. Les premiers explorateurs avaient criblé le terrain de sondages, sans se préoccuper, une fois le résultat obtenu, de les refermer hermétiquement malgré les recommandations de l'Administration des Mines.

On obtura ces trous avec du béton et du ciment et peu à peu la diminution de l'eau devint sensible; au bout de quelques mois la diminution atteignait 55 0/0. L'opération a coûté 15 000 f.

Communication de M. Raveaud sur l'**Application des sondages à l'aérage des mines grisouteuses.**

La méthode d'aérage proposée consiste à percer des cheminées partant du jour et aboutissant dans les travaux souterrains ; ces cheminées doivent être percées par sondage. La réalisation pratique de cette méthode est donc subordonnée, avant tout, à la possibilité d'effectuer le percement de ces cheminées à des conditions déterminées de rapidité et de bon marché.

Statistique minérale. — Rapport de la Commission de statistique de l'industrie minérale et des appareils à vapeur, au Ministre des Travaux publics, relatifs à l'année 1889.

INSTITUT ROYAL DES INGÉNIEURS NÉERLANDAIS (1)

Livraison du 5 Février 1891.

Séance du 11 Novembre 1890.

Communication de M. Conrad sur sa participation à la Commission permanente du Congrès des travaux maritimes.

Communication de M. Van den Sleyden sur le Congrès de navigation intérieure à Manchester.

Communication de M. de Jongh, directeur des travaux publics de Rotterdam, sur les dernières améliorations entreprises ou étudiées pour les bassins de cette ville.

L'auteur décrit les bassins, les murs de quais, les formes de radoub, qui ont été établis depuis 1884, à mesure que l'importance du port s'est accrue. Il développe ensuite le projet d'établissement de voies navigables pour remplacer les rues dans le nouveau quartier industriel, pour faciliter les transports et réduire l'entretien des voies de communication ordinaires. Les usines auraient un accès direct sur ces canaux, de sorte qu'il n'y aurait pas de frais de transbordement.

Communication de M. Welckner sur les améliorations apportées à la communication de Rotterdam avec la mer, améliorations qui ont eu le succès le plus complet et qui rendent ce port accessible à basse mer aux plus grands navires.

Communication de M. Leemans sur les travaux exécutés depuis 1850 sur la rivière qui, sous diverses dénominations, relie Rotterdam à la frontière allemande, sur une longueur de 135 *km*. Ces travaux ont coûté, de 1852 à 1889, une somme de 10 millions de florins. On se proposait d'obtenir partout une profondeur de 2,70 *m* au-dessous de l'étiage. Ce but n'est pas encore entièrement réalisé, mais on est en train de l'obtenir.

Discussion sur le projet de M. Huet pour le desséchement des polders au moyen de pompes.

Livraison du 25 Février 1891.

Communication de M. Eymer sur les forces secondaires dans les ponts à treillis à grandes mailles et leur influence sur la construction.

Communication de M. Noordnyn sur la nouvelle caserne d'artillerie d'Utrecht. Cette caserne est destinée à recevoir 720 hommes, mais on peut en loger 1 064 en cas de nécessité. Elle a coûté, sans les terrains, 473 000 florins.

Communication de M. Vermaes sur la canalisation de la rivière Tjonger. Le Tjonger est une petite rivière de la Frise qui sert au dessé-

(1) *Résumé communiqué par M. J. de Koning.*

chement du pays environnant et aussi à la navigation ; les travaux d'amélioration ont coûté 913 000 florins.

Communication de M. KOREVAM sur le desséchement du polder Tedingerbroek de 1870 à 1874. Ces travaux ont permis de gagner 500 *h* de terrain.

LIVRAISON DU 5 AVRIL 1891.

Séance du 10 février 1891.

Communication de M. VAN YSSELSTEIN sur le mouvement du commerce dans le port de Rotterdam, avec diagrammes y relatifs.

Discussion entre MM. HALBERSTMA et HUET sur les pompes servant au desséchement des polders.

Notice de M. CONRAD sur G.-S Fahrenheit, l'inventeur du thermomètre à mercure et d'une machine pour le desséchement des polders, machine que la mort l'a empêché de terminer.

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS ALLEMANDS

N° 14. — 4 *avril* 1891.

Scierie à vapeur de Baesler et Bomnitz, à Borsdorf, près Leipzig, par par C. Lüders.

Machines de l'industrie textile à l'Exposition universelle de 1889, à Paris, par G. Rohn *(suite)*.

Nouvelles recherches sur l'influence de l'élévation de la température sur les propriétés résistantes du fer et de l'acier, par Rüdeloff.

Métallurgie. — L'or, par G. Schnabel.

Groupe d'Aix-la-Chapelle. — Presses à air comprimé. — Unification des pas de vis. — Appareil pour l'épuration des eaux d'alimentation. — Industrie chimique en Angleterre.

Bibliographie. — L'école et la question sociale, par le Dr R.-G. Volcker.

Variétés. — Congrès des ingénieurs et architectes à Palerme.

N° 15. — 11 *avril* 1891.

Le système métrique des mesures et la nouvelle heure allemande, par M. Wille.

Les machines de l'industrie textile à l'Exposition universelle de 1889 à Paris, par G. Rohn *(fin)*.

Machines-outils. — Nouveautés dans les machines-outils à travailler les métaux *(fin)*.

Métallurgie. — L'or, par G. Schnabel *(fin)*.

Groupe de Hanovre. — Expériences de résistance sur des rails d'acier Bessemer.

Groupe de Wurtemberg. — Progrès récents dans l'éclairage par le gaz.

Variétés. — Niveau d'eau électrique. — Niveau à tube de verre pour chaudières. — École de mécanique industrielle à Breslau. — Technicum d'Hildburghausen.

Correspondance. — Distribution de force par l'air comprimé. — Rupture de machines à vapeur.

N° 16. — 18 *avril* 1891.

Le système métrique des mesures et la nouvelle heure allemande, par M. Wille *(fin)*.

Nouvelles recherches sur l'influence de l'élévation de la température sur les propriétés résistantes du fer et de l'acier, par Rudeloff *(fin)*.

Nouvelles recherches sur la rectification des arcs de cercle, par H. Hartl.

Groupe de Berlin. — Circulation des gaz chauds dans les chaudières à eau dans les tubes. — Historique des progrès de la science de la navigation maritime. — Patentes d'invention. — Dispositif de sûreté pour les machines.

Groupe de Thuringe. — Approvisionnement des betteraves dans les sucreries.

Correspondance. — Utilité de la condensation.

N° 17. — 25 *avril* 1891.

Machines soufflantes à balancier jumelles, par R. Wolckmann.

Chemin de fer souterrain à Londres, par L. Troske *(suite)*.

Construction navale. — Bateau porte-trains américain, par A. Schmidt.

Une erreur usuelle dans le calcul des questions concernant l'hydraulique, par C. Bach.

Détermination du rayon d'une coulisse Stephenson.

Tracé des dents des engrenages hélicoïdaux, par K. Keller.

Examens de sortie de l'École technique supérieure de Cologne.

Groupe de Cologne. — Signal avancé pour chemins de fer, avec horloge de contrôle.

Groupe du Rhin inférieur. — Rapport des Ingénieurs allemands sur leur voyage aux États-Unis au printemps de 1890.

Variétés. — École industrielle de Hagen. — Emploi du plâtre pour les constructions à l'épreuve du feu. — Règles pour la construction des chaudières.

Pour la Chronique et les Comptes rendus :

A. Mallet.

ERRATA A L'ANNUAIRE

1° Page 141 :

Au lieu de **Duval-Phiet**; lire **Duval-Pihet.**

2° Page 153 :

Après **Génissieu,** *a été ing. de la S*^{té} *etc.* Ajouter 1889 S. **Gennes**, Adolphe-André (de) A. ✠, ✠, ✠, ing. aux mines de Lens à Liévin (Pas-de-Calais).

3° Page 186 :

A la mention **Mallet** (Anatole), lauréat de l'Institut, etc., au lieu de **avenue de Tridaine, 30**; lire **avenue Trudaine, 30**, à Paris.

4° Page 243 :

Au lieu de **Guigon** (Bey-Eloi), lire **Guigon-Bey** (Eloi).

5° Page 247 :

Au lieu de **Perreur-Llyod**; lire **Perreur-Lloyd.**

6° Page 257 :

Au lieu de **Oise... Étony**; lire **Étouy.**

IMPRIMERIE CHAIX, RUE BERGÈRE, 20, PARIS. — 10130-5-91.

Grue Fig. 5.

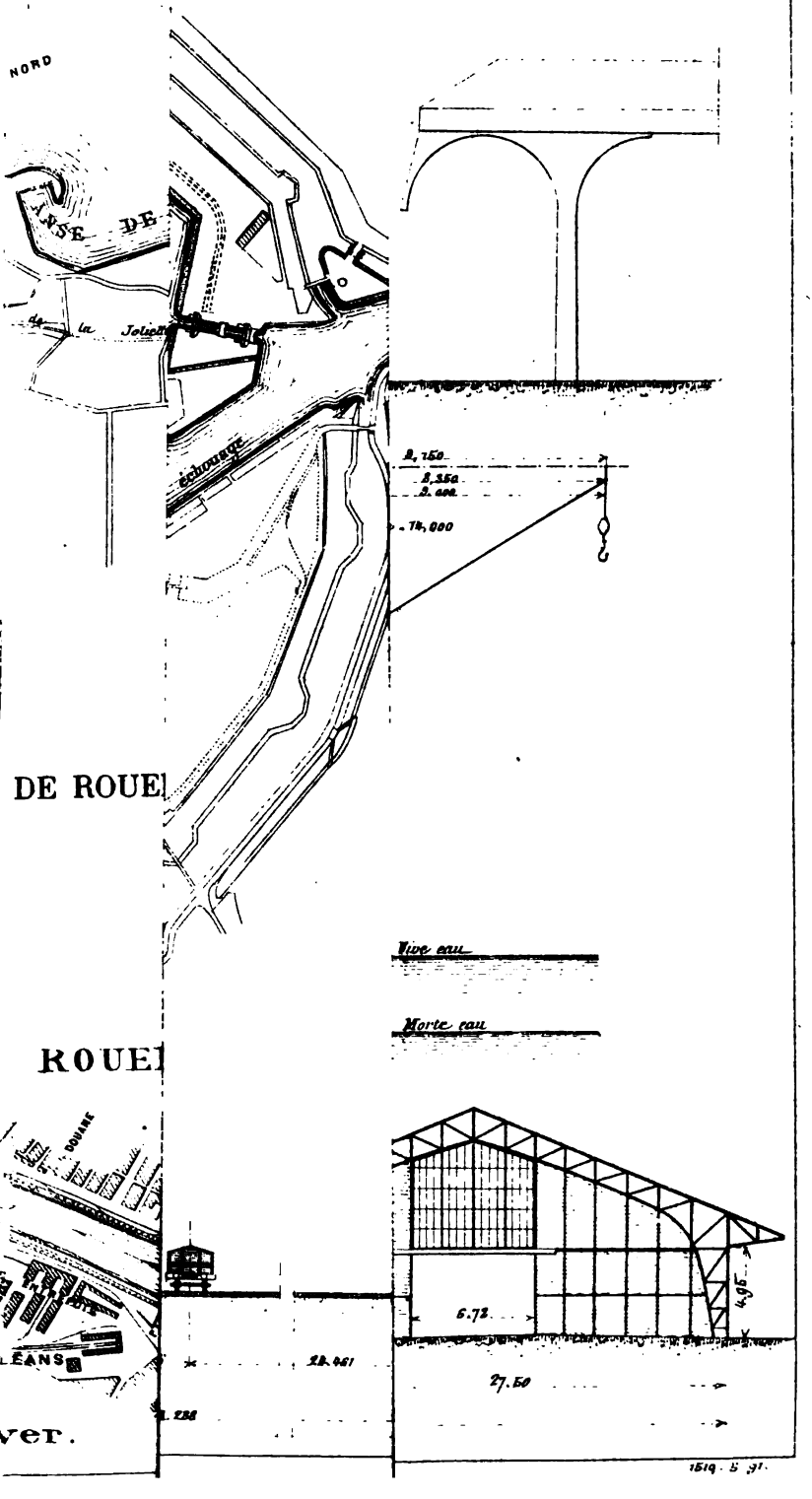
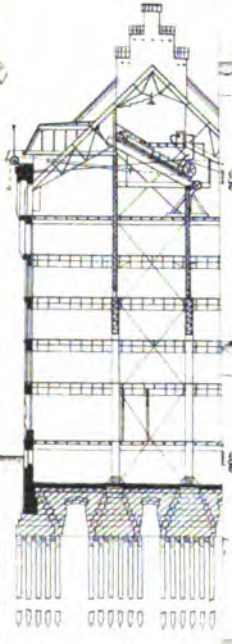

NORD
ANSE DE
la Joliett
écluse
DE ROUE
ROUE
DOUANE
LÉANS
ver.
2,750
3,350
2,600
14,000
Vive eau
Morte eau
6.72
4,95
28.961
27.50
1519. B 31.

Fig. 3.

ambourg Fig. 8.

ds Fig. 3bis

Fig. 6.



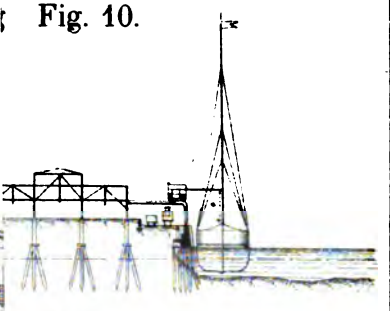
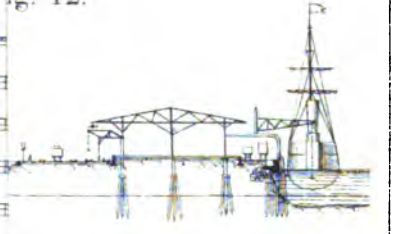


Fig. 10.

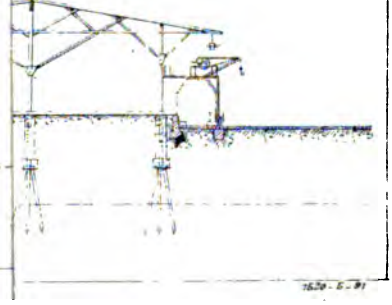
ig. 11.

g. 12.



g. 13.

Fig. 14.



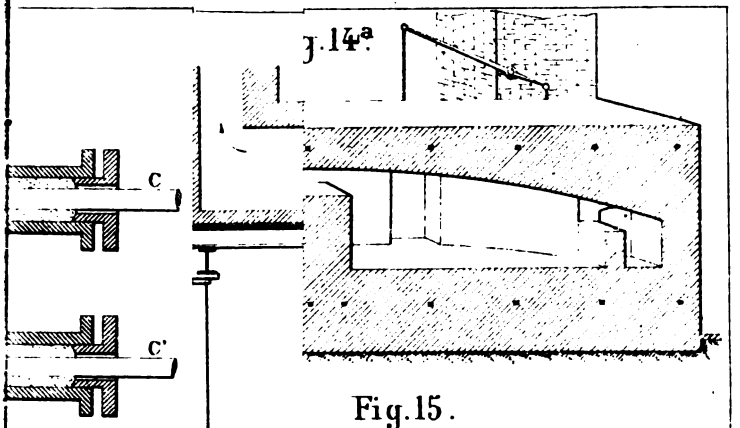


Fig.15.

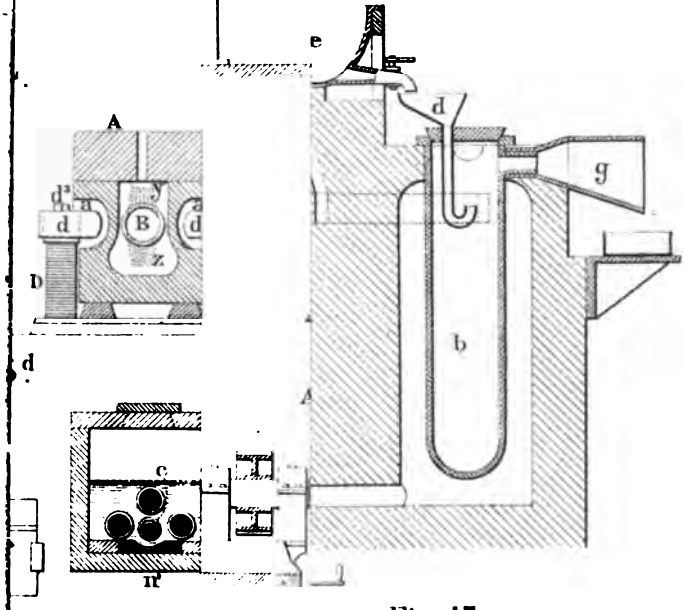


Fig.17

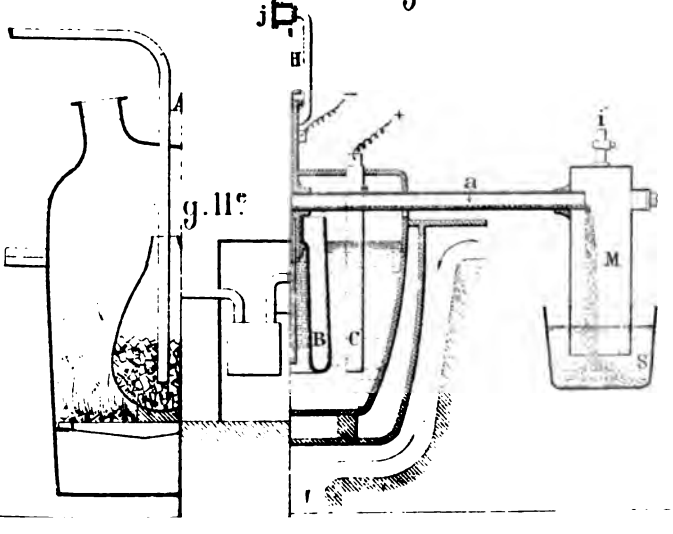


Fig. 30.

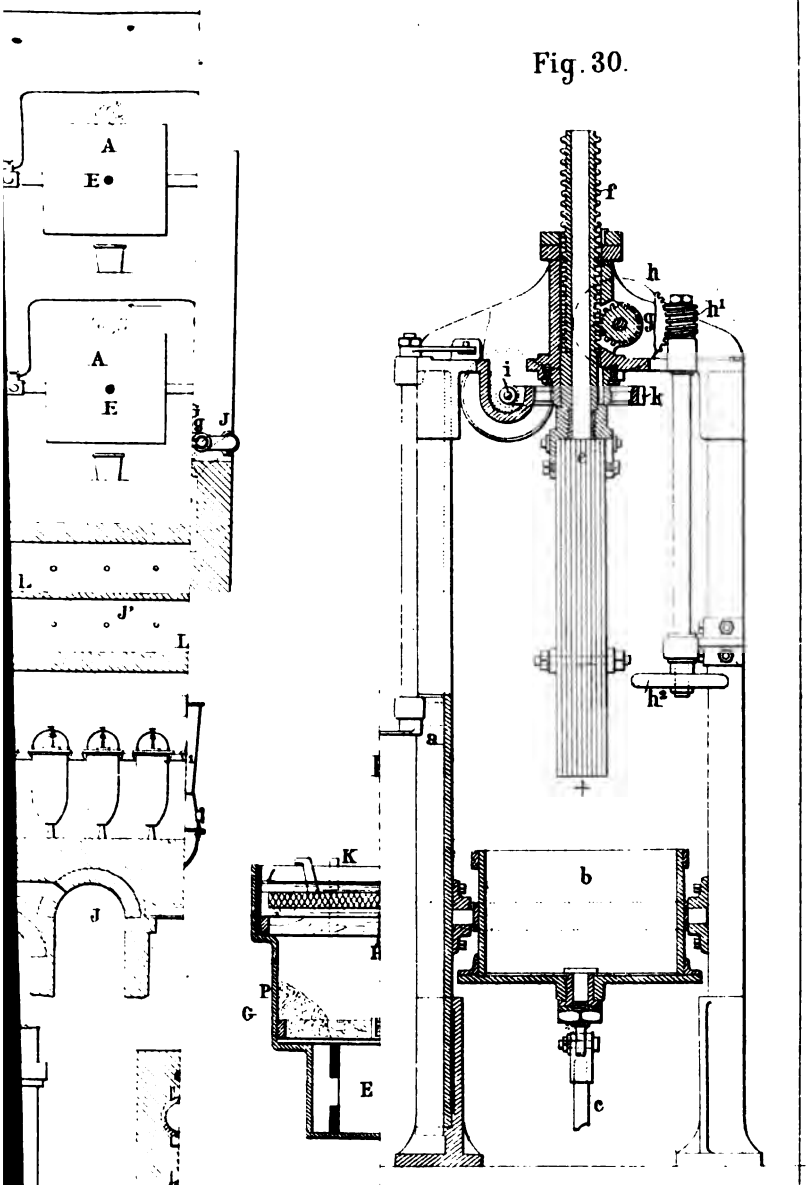
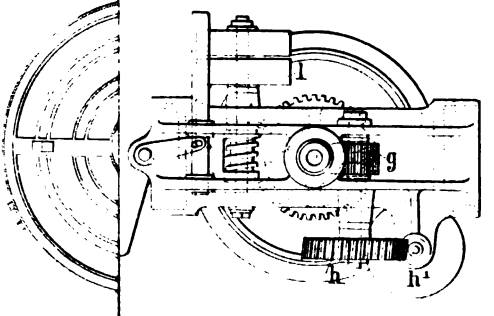


Fig. 30ª



MÉMOIRES

ET

COMPTE RENDU DES TRAVAUX

DE LA

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS

MAI 1891

N° 5.

Sommaire des séances du mois de mai 1891 :

1° *Outillage des ports de commerce*, lettre de MM. Douau (Séance du 1er mai), page 570 ;

2° *Décès* de MM. P. V. Capdevielle, A. Léon et G. Lepeudry (Séances des 1er et 15 mai), pages 570 et 584 ;

3° *Concours pour l'éclairage de Sofia par l'électricité* (Séance du 1er mai), page 570 ;

4° *Concours pour deux ponts à construire au Canada* (Séance du 1er mai), page 571 ;

5° *Centenaire de la loi des 7 janvier et 25 mai 1791*, lettres de M. A. Casalonga (Séance du 1er mai), page 571 ;

6° *Visite au secteur électrique de la place Clichy* (Compte rendu de la), par M. P. Jousselin (Séance du 1er mai), page 572 ;

7° *Procédé au minerai ou « Ores Process » au four Siémens-Martin*, par M. A. Pourcel, et observations de MM. P. Renard, J. Euverte, A. Lencauchez et lettre de M. P. Charpentier (Séances des 1er et 15 mai), pages 576 et 585 ;

8° *Gaz dynamogène et ses applications*, par M. H. Guyon, et observations de MM. P. Jousselin et A. Lencauchez (Séances des 1er et 15 mai), pages 581 et 585 ;

9° *Exposition internationale du travail* (Séance du 15 mai), p. 585 ;

10° *Transmission de la force par l'électricité*, par M. O. Buron (Séance du 15 mai), page 587 ;

11° *Transmissions électriques*, par M. A. Hillairet (Séance du 15 mai), page 589;

12° *Installations électriques*, par M. A. de Bovet (Séance du 15 mai), page 592.

Pendant le mois de mai 1891, la Société a reçu :

32137 — De M. E. Pontzen (M. de la S.). *Procédés généraux de construction. Travaux de terrassements, tunnels, dragages et déroche-ments.* (Grand in-8° de 559 p.). Paris, Baudry et Cie, 1891.

32138 — De M. Wirth. *Patent Law of the German Empire of 1891.* (In-12 de 27 p.). Francfort, C. Adelmann, 1891.

32139 — De M. Max de Nansouty (M. de la S.). *La question du métropolitain de Paris et le projet de la Compagnie des Établissements Eiffel.* (In-8° de 59 p.).

32140 — Du même. *Le Chemin de fer métropolitain de Paris*, par C. Boutillier. (In-8° de 25 p.). Paris, *Génie Civil*, 1891.

32141 — De M. A. Mallet (M. de la S.). *Traité de l'hélice propulsive*, par E. Paris. (Grand in-8° de 580 p., avec pl.). Paris, A. Bertrand, 1855.

32142 — De la Société française de Physique. *Collection de mémoires relatifs à la physique*, tome V. (In-8°). Paris, Gauthier-Villars, 1891.

32143 — De M. L. Fayot (M. de la S.). *La machine dynamo à disque, système Desroziers.* (Petit in-8° de 21 p., avec pl.). Paris, Chaix, 1891,

32144 — De M. L.-N.-B. Wyse (M. de la S.). *Canal interocéanique de Panama. Mission de Colombie 1890-91. Rapport général.* (Grand in-8° de 154 p., avec pl.). Paris, A. Heymann, 1891.

32145 à 32152 — De M. A. Mallet (M. de la S.). *Traité complet de mécanique appliquée aux arts*, par J.-A. Borgnis. (8 vol. petit in-4°.). Paris, Bachelier, 1818 à 1820.

32153 — Du même. *Dictionnaire de mécanique appliquée aux arts*, par J.-A. Borgnis. (Petit in-4°.). Paris, Bachelier, 1823.

32154 — De M. d'Espine (M. de la S.). *Compteur d'eau, système Schmid. Catalogue.* (Grand in-8° de 56 p.). Paris, F. Appel, 1891.

32155 — De M. G. Bresson (M. de la S.). *L'industrie métallurgique dans ses rapports actuels avec les constructions navales.* (In-8° de 64 p.). Paris, G. Dunod, 1891.

32156 — De M. L. Durassier (M. de la S.). *Considérations sur le projet de loi relatif au travail des enfants, des filles mineures et des femmes, dans les établissements industriels.* (In-8° de 56 p.). Paris, 1891.

32157 — De la Chambre de commerce de Paris. *Régime douanier. Lettre à M. le Ministre du Commerce, de l'Industrie et des Colonies.* (Fe in-4°). Paris, Imprimeries Réunies, 1891.

32158 — De M. Ch. Walrand (M. de la S.). *Effets produits par la trempe sur l'acier.* (Petit in-12 de 11 p.). Saint-Dizier, Henriot et Godard, 1891.

32159 — De M. Sandberg (M. de la S.). *Note sur les rails en acier.* In-8 de 13 pages. Bruxelles, P. Weissenbruch, 1891.

32160 — De la Société des Forges et Chantiers de la Méditerranée. *Torpille électrique Sims-Edison. Expérience faite au Havre le 2 mai 1891.* In-12 ital. de 12 pages. Havre, 1891.

32161 — De M. E. Cheysson. *Les budgets comparés des cent monographies de familles*, par E. Cheysson et A. Toqué. Grand in-8 de 157 pages. Rome, Botta, 1890.

32162 — De M. A. Fock (M. de la S.). *La pénétration africaine et le Transsaharien.* Grand in-8 de 7 pages. Tours, Deslis, 1891.

32163 — De M. Delmas (M. de la S.). *Association polytechnique. Bulletin mensuel, janvier à mars, et Annuaire 1890-91.* In-8. Paris, 1891.

32164 — De M. J. de Guillen-Garcia (M. de la S.). *Productos obtenidos de la naranja.* In-12 de 78 pages. Barcelona, 1891.

32165 — De *The Journal of the Iron and Steel Institute, N° II.* London, Spon, 1890.

32166 — De la Société des Agriculteurs de France. *Reconstitution des vignobles avec les cépages américains*, par le vicomte de Saint-Pol. In-8 de 80 pages. Paris, Noizette, 1891.

32167 — De M. A. Fichet (M. de la S.). *Notice sur l'appareil crématoire construit pour le compte de la Ville de Paris au cimetière de l'Est en 1890.* In-8 de 24 pages. Paris, *Génie civil*, 1891.

32168 — De M. le Ministre des Affaires étrangères. *Les conditions du travail aux États-Unis.* In-8 de 111 pages. Paris et Nancy, Berger-Levrault, 1891.

32169 — De M. L.-F. Vernon-Harcourt. *Achievements in Engineering.* In-8 de 311 pages. London, Seeley and C°, 1891.

32170 — De M. F. Englebert. *Ville d'Arlon. Distribution d'eau. Programme et cahier des charges.* Petit in-4 de 7 pages avec pl. Bruxelles, J. Goemaere, 1891.

32171 — De M. E. Flavien (M. de la S.). *L'industrie textile*, 6e année. 1890. In-4. Paris, Quantin.

32172 — De M. P. Hanrez (M. de la S.). *La question de l'eau à Bruxelles et dans ses faubourgs.* In-8 de 27 pages. Bruxelles, E. Guyot, 1891.

32173 — De M. le Président de la Commission administrative des Houillères du Centre. *Rapport sur la Caisse de prévoyance des ouvriers mineurs.* Petit in-8 de 31 pages. La Louvière, Veuve Deligne, 1891.

RÉSUMÉ

DES

PROCÈS-VERBAUX DES SÉANCES

DU MOIS DE MAI 1891

Séance du 1er Mai 1891.

PRÉSIDENCE DE M. E. POLONCEAU.

La séance est ouverte à huit heures et demie.

Le procès-verbal de la précédente séance est adopté sans observations.

M. LE PRÉSIDENT donne connaissance d'une lettre de M. M. Douau, Ingénieur de la Chambre de commerce de Dunkerque, relative à la communication récente de M. de Coëne sur l'outillage des ports de commerce.

M. Douau fait remarquer que, contrairement à l'assertion de M. J. de Coëne, il existe déjà dans le port, des appareils mécaniques et hangars. Ainsi, plusieurs particuliers possèdent des petites grues à vapeur sur quai ou sur pontons; la Compagnie du Nord possède sur quai deux grues pivotantes à bras de 10 000 à 30 000 *kg*, et la Chambre de commerce possède une grue pivotante et flottante de 40 *t*. Il existe sur les quais quatre hangars de 120 *m* sur 30 *m*, soit 3 600 m^2, et deux autres hangars sont en construction.

M. LE PRÉSIDENT a la douleur d'annoncer la mort de M. Pierre-Victor Capdevielle. Sorti de l'École Centrale en 1849, il était membre de la Société depuis 1857. Entré comme dessinateur à la Compagnie du chemin de fer du Nord en 1850, il en était sorti inspecteur du matériel en 1857, pour devenir inspecteur du matériel au chemin de fer de Paris à Lyon par le Bourbonnais. En dernier lieu, il était administrateur de la Société générale des Forges et Ateliers de Saint-Denis.

M. LE PRÉSIDENT signale deux concours dont les conditions ont été résumées par l'*Écho des Mines et de la Métallurgie* du 19 avril 1891 :

1° *Concours pour l'éclairage de Sofia par l'électricité*. — La municipalité de Sofia a décidé d'ouvrir un concours international pour l'éclairage de cette ville par l'électricité.

Les documents relatifs à ce concours sont déposés au ministère du

Commerce, de l'Industrie et des Colonies (Direction du Commerce extérieur. — Bureau des Renseignements commerciaux), 80, rue de Varennes.

2° *Concours pour deux ponts à construire au Canada.* — Le Département des Travaux publics de la province de Québec a ouvert des adjudications relatives à l'entreprise des travaux de construction de la superstructure métallique des deux ponts fixes, l'un à Saint-Ephrem d'Upton, sur la rivière Blanche, et l'autre à Valcartier, sur la rivière Jacques-Cartier.

On peut prendre connaissance des documents relatifs aux affaires qui précèdent, au ministère du Commerce, de l'Industrie et des Colonies (Direction du Commerce extérieur. — Bureau des Renseignements commerciaux), 80, rue de Varennes, à Paris.

M. LE PRÉSIDENT donne lecture de deux lettres de M. D.-A. Casalonga, président du Syndidat des Ingénieurs conseils en matière de propriété industrielle.

Par la première, M. Casalonga annonce que le Syndicat des Ingénieurs conseils, sur la proposition de M. Armengaud jeune, a pris l'initiative de célébrer le centenaire de la loi des 7 janvier et 25 mai 1791, relative aux inventions. Il vient, en conséquence, demander le concours moral et le patronage de la Société des Ingénieurs civils, dont les membres sont si fortement intéressés aux lois qui régissent la propriété industrielle, et inviter les membres de la Société à participer au banquet commémoratif qui aura lieu le 26 mai à l'hôtel Continental.

M. Casalonga signale l'adhésion déjà acquise de l'Association des Inventeurs et Artistes industriels (président M. Legat), du Syndicat des Inventeurs de France (président M. Marié Davy), et spécialement de M. le ministre du Commerce.

Dans la seconde lettre, M. Casalonga annonce que des cartes pour le banquet (cotisation 20 francs) seront déposées au secrétariat de la Société des Ingénieurs civils ; et que d'autres cartes seront également déposées au même endroit pour les conférences et visites qui auront lieu le 25 mai au Conservatoire des Arts et Métiers.

M. LE PRÉSIDENT engage tous les membres de la Société à assister à ces conférences, qui seront extrêmement intéressantes, et à prendre part aussi à ce banquet, car les Ingénieurs doivent tous apporter leur concours le plus énergique au Syndicat des Ingénieurs conseils en matière de propriété industrielle.

M. D.-A. CASALONGA remercie M. le Président de ces paroles encourageantes et annonce que le projet de fête commémorative a eu également le patronage de la Société d'Encouragement pour l'industrie nationale, de l'Association amicale des Anciens Élèves de l'École Centrale, et de la Société des Anciens Élèves des Écoles nationales d'Arts et Métiers.

M. LE PRÉSIDENT dépose la liste des ouvrages reçus depuis la dernière séance, liste publiée plus loin.

M. LE PRÉSIDENT exprime ses vifs regrets de n'avoir pu se rendre à l'invitation qui lui a été adressée pour l'inauguration de l'usine centrale

du secteur électrique de la place Clichy ; il invite M. P. Jousselin, vice-président de la Société, qui l'a remplacé à cette fête, à décrire ce qu'il a vu.

M. P. Jousselin rend compte de la visite qu'il a faite à l'*usine du secteur électrique de la place Clichy*.

Le 28 avril dernier, avait lieu l'inauguration de l'usine centrale du secteur électrique de la place Clichy, en présence de M. Yves-Guyot, ministre des Travaux publics, assisté de M. Alphand, des hauts fonctionnaires de la Préfecture de la Seine et de nombreux savants et Ingénieurs.

Il vient donner des renseignements sur cette cérémonie toute d'actualité à laquelle le bureau de la Société avait été convié.

-- L'usine électrique du secteur de la place Clichy est installée rue des Dames, sur un vaste terrain voisin du théâtre des Batignolles.

Elle est aménagée pour pouvoir assurer le service de 45 000 lampes à incandescence de 10 bougies par une force motrice de 3 000 chevaux-vapeur.

Présentement, on n'a installé que la machinerie nécessaire pour produire la moitié de cette force qui est réalisée par six chaudières multitubulaires de Naeyer d'une puissance de vaporisation chacune de 2 500 *kg* à l'heure, soit 1 500 chevaux-vapeur qui seront doublés plus tard par l'adjonction de six autres chaudières de la même capacité.

Ces générateurs sont installés, avec leurs pompes et leurs injecteurs Koerting, dans le sous-sol qui a été disposé pour recevoir, en outre, les approvisionnements de charbon et des batteries d'accumulateurs.

Le rez-de-chaussée est occupé par la tuyauterie de vapeur, et le premier étage renferme toute la machinerie : machines motrices, dynamos et tableaux de distribution.

L'usine couvrant une superficie de 1 800 m^2, on comprend l'importance des proportions de la belle halle couverte du premier étage où l'on est à même de se rendre compte du fonctionnement général de l'usine.

Machines motrices. — Les machines forment actuellement six groupes comprenant :

1° Trois machines compound, système Armington, de 150 chevaux effectifs chacune, tournant à la vitesse de 240 tours;

2° Trois puissantes machines à un cylindre, système Corliss, très remarquablement installées, de 500 chevaux effectifs chacune et tournant à la vitesse de 64 tours.

Une de ces machines n'était pas terminée : la Société se réserve d'adjoindre plus tard à cette machinerie deux autres Corliss de la même puissance qui compléteront la force motrice de l'établissement.

Dynamos. — Les dynamos constituent six groupes, actionnés chacun par un des moteurs ci-dessus :

Les trois premiers, composés chacun de deux dynamos Shunt à courant continu, sont entraînés directement à l'aide de courroies par les machines Armington. Ils peuvent débiter 200 ampères, sous une tension variable de 450 à 500 volts, en tournant à la vitesse de 380 tours.

Les trois autres groupes, actionnés par les machines Corliss, comprennent chacun une énorme dynamo Shunt à courant continu, pouvant débiter 700 ampères sous une tension variable de 450 à 500 volts.

Dans cette machine extrêmement remarquable et une des plus puissantes du type à courant continu qui ait été construite jusqu'à ce jour, l'induit est un anneau de Gramme de 3,30 *m* de diamètre extérieur sur 0 500 *m* de largeur, dont l'enroulement extérieur dénudé sert à huit séries de balais frottant à sa surface. Cet induit multipolaire ou à huit pôles de collecteur dont le poids est d'environ 10 000 *kg*, est monté sur l'arbre moteur lui-même de la Corliss et tourne avec celui-ci à la vitesse de 64 tours.

La Société du secteur de la place Clichy estime que le rendement industriel de ces grandes dynamos n'est pas inférieur à 92 0/0, appréciation qui parait exacte.

On se trouve donc en présence d'une machine dynamo absolument exceptionnelle ; elle a eu, d'ailleurs, le succès de la soirée : c'était à M. Alphand, l'éminent et sympathique directeur des Travaux de Paris, qu'on avait réservé l'honneur de sa mise en marche, ce dont il s'est acquitté avec sa bonne grâce habituelle !

On voit donc qu'on a adopté dans l'usine du secteur Clichy deux types de machines dynamos de puissance différente, dans le but de permettre l'arrêt des grandes machines de 500 chevaux aux heures de la journée où la consommation du réseau ne nécessite pas une force motrice supérieure à 150 chevaux : on marche alors plus économiquement avec les Armington.

Tableau de distribution. — Comme dans la plupart des usines électriques, la Société du secteur de la place Clichy a apporté tous ses soins à l'établissement de son tableau de distribution qui joue un rôle si important dans le réglage, la manipulation et la distribution des courants : et l'examen attentif de ce tableau a démontré que la Société avait absolument réussi.

Ce tableau, à cloisons en marbre artificiel, vaste panneau à deux étages avec charpente en fer, comporte à l'étage inférieur les *rhéostats*, *ampèremètres*, *voltmètres*, *interrupteurs*, etc., etc., destinés au réglage des dynamos. A l'étage supérieur, des appareils similaires servent à répartir les courants dans les *feeders*, aboutissant à la face postérieure du tableau.

Les feeders gagnent le sous-sol de l'usine par un plan incliné en bois sur lequel ils sont simplement posés et sortent par un tunnel construit sous la rue des Dames pour rejoindre sous les trottoirs le réseau souterrain de distribution.

Accumulateurs. — Dans le sous-sol sont installées deux puissantes batteries d'accumulateurs, type Laurent Cely, comprenant chacune 250 éléments à 250 *kg* de plaques. Ces batteries, qui pourront être doublées, s'il y a lieu, chargées par les dynamos de l'usine, sont destinées à assurer le service du réseau de minuit à 8 ou 9 heures du matin (pendant l'arrêt des machines).

Distribution et Canalisation sous la voie publique. — Le système employé pour la première fois sur une vaste échelle, au secteur de Clichy, est le système à cinq fils, qui permet de distribuer le courant à des distances relativement étendues, voire même jusqu'à 2 500 m, tout en n'employant pour les conducteurs que des sections de cuivre réduites.

Le réseau, en dehors des feeders qui l'alimentent, se compose de cinq câbles placés côte à côte, toujours dans le même ordre, sous les trottoirs des rues.

En les désignant par ordre sous les numéros 1, 2, 3, 4 et 5, nous constatons que les feeders viennent se brancher sur les câbles extrêmes 1 et 5, sur divers points du réseau judicieusement choisis. Chaque feeder porte avec lui un fil de contrôle isolé qui aboutit dans l'usine, à un des voltmètres du tableau de distribution; on a ainsi la possibilité de connaître à chaque instant la différence de potentiel entre les extrémités de chaque couple de feeders et, par suite de la maintenir constante et égale à 440 volts, au moyen d'appareils de réglage disposés *ad hoc*.

Les câbles extrêmes 1 et 5 reliés aux extrémités des feeders sont donc maintenus sur tout leur parcours à cette même différence de potentiel de 440 volts : le rôle des trois câbles intermédiaires se borne à diviser cette tension en quatre parties égales, soit à 110 volts chacune, ce qui est la tension normale adoptée dans tous les secteurs électriques de la Ville de Paris.

Les câbles sont du système Siemens : ce sont des câbles sous plomb, armés d'acier, d'une isolation presque absolue. Ils peuvent être posés directement en terre sous les trottoirs, comme on le fait présentement, leur gaine métallique les préservant contre toute atteinte. Le raccordement des câbles entre eux ou avec les feeders est fait par l'intermédiaire de manchons spéciaux et de boîtes de distribution qui assurent la continuité parfaite de l'isolation.

Je n'insiste pas sur cette question de canalisation qui pourrait faire plus tard à la Société l'objet d'une communication technique des plus intéressantes, surtout si on compare le mode d'établissement de cette canalisation aux modes d'établissement adoptés pour les divers autres secteurs de la capitale.

Je disais, au début de cette communication, que l'usine de la rue des Dames, comporterait lorsqu'elle serait complète, la transformation en énergie électrique sur l'étendue du secteur de Clichy, d'une force motrice totale de 3 000 chevaux-vapeur, pouvant alimenter 45 000 lampes à incandescence de 10 bougies. L'adjonction aux batteries actuelles d'accumulateurs, de nouvelles batteries, pourra permettre, d'après les projets de la Société actuelle, d'augmenter considérablement la puissance électrique de l'usine et de multiplier encore le nombre des lampes à installer.

C'est dire que, suivant les projets de la Société, celle-ci pourrait se proposer vraisemblablement de substituer d'une manière complète l'éclairage électrique à l'éclairage au gaz dans l'étendue de son secteur.

Les autres secteurs pouvant avoir les mêmes aspirations, serions-nous appelés à voir dans notre cité la lumière électrique se substituer entièrement à celle du gaz? Pourrions-nous, dès aujourd'hui, si on admettait

cette révolution absolue dans l'éclairage de Paris, prédire la réalisation de ce vieux dicton du poète : « Ceci tuera cela. »

Je ne le pense pas, messieurs, et j'ai l'intime conviction que le gaz et l'électricité sont appelés à vivre en paix côte à côte dans nos cités, pour le plus grand avantage des besoins publics et particuliers.

En ce qui concerne la capitale, l'économie devrait jouer un rôle essentiel dans la question ; et dans les conditions présentes de production de l'électricité à Paris, à l'aide de moteurs à vapeur, la lumière électrique y coûte notablement plus cher que la lumière du gaz ; en effet : pour un bec de gaz ordinaire le plus généralement adopté, dont la consommation est de 130 *l* à l'heure, le prix de l'heure d'éclairage à raison de 0,30 *f* le mètre cube (prix de Paris) est de 0,03 *f*.

Le bec électrique à incandescence de 10 bougies correspondant sensiblement comme pouvoir éclairant à ce bec de gaz de 130 *l*, consomme à raison de 3,50 watts par bougie la quantité de 35 watts, ce qui, à raison du tarif moyen de 0,15 *f* les 100 watts, représente une dépense de 0,0525 *f* par lampe et par heure, soit plus d'un tiers de plus que le bec de gaz de même pouvoir éclairant.

Dans ces conditions l'éclairage par l'électricité correspondrait à un prix de vente du gaz supérieur à 0,40 *f*.

Si on rappelle que la création des secteurs d'électricité à Paris a été décidée à la suite du conflit encore pendant entre la municipalité et la Compagnie parisienne au sujet de l'abaissement du prix du gaz, on ne peut s'empêcher de reconnaître que l'on tourne dans un cercle vicieux : en effet, par suite de la non-acceptation, par la municipalité de Paris, de la proposition très rationnelle, suivant nous, faite par la Compagnie parisienne d'abaisser à 0,20 *f* le prix du gaz moyennant une prolongation du traité actuel, prolongation motivée par la question d'amortissement, l'abonné continue à payer le gaz 0,30 *f* le mètre cube et s'il veut renoncer au gaz, en s'adressant au secteur d'électricité, il paie son éclairage comme si le gaz lui était vendu 0,40 *f*.

Ces considérations démontrent qu'il importe que l'on sorte de cette situation absolument irrationnelle : l'électricité étant l'éclairage de luxe par excellence peut être payée à un prix exceptionnel, mais le gaz, plus pratique comme emploi et le plus généralement employé dans les usages domestiques, devra être payé à un prix notamment inférieur et c'est pour cela qu'il faut souhaiter que les pourparlers à fin d'abaissement du prix du gaz aboutissent à une solution avantageuse pour tous : cette solution s'impose d'elle-même et sera certainement réalisée dans un avenir prochain, nous l'espérons !

Pour en revenir à la question qui fait l'objet de la présente communication, je dirai, en terminant, que l'usine électrique du secteur de la rue de Clichy tient certainement une des premières places dans les installations des usines similaires de Paris ; que toute sa machinerie, sortie des ateliers de la Société Alsacienne des constructions mécaniques, à Belfort, réalise toute la perfection constatée déjà pour les produits de cette Société à l'Exposition Universelle de 1889, et qui lui a valu les plus hautes récompenses.

M. LE PRÉSIDENT remercie M. Jousselin de sa communication et de l'intéressante comparaison entre l'éclairage électrique et l'éclairage au gaz. Il constate que si la France, et spécialement la ville de Paris, est restée longtemps en retard au point de vue de l'électricité, il a été fait, depuis deux ans, des progrès considérables, et qu'avant peu, en France, il y aura des installations d'éclairage électrique aussi complètes que dans les pays les plus avancés sous ce rapport.

M. LE PRÉSIDENT donne la parole à M. A. Pourcel, pour sa communication sur le *Procédé au minerai ou " Ore Process " au four Siemens-Martin.*

M. A. POURCEL donne lecture de sa note sur le procédé au minerai ou *Ore Process* pour obtenir l'acier sur sole au four Siemens-Martin :

1° Avec des fontes pures ;

2° Avec des fontes phosphoreuses.

La note de M. Pourcel fait un historique du procédé et expose les motifs qui l'ont fait adopter en Angleterre, au lieu du procédé au scrap. Tandis que celui-ci était déjà pratiqué en France depuis trois ou quatre ans, le Dr W. Siemens établissait la première usine pour appliquer en grand l'*Ore Process* en 1869 seulement, à Landore, près de Swansea.

C'est la question de la sole qui avait retardé le succès du procédé au minerai : l'application du *Silver-Sand*, tiré de Belgique, à sa confection, fut l'élément décisif de sa mise en pratique courante. M. Pourcel décrit dans le détail les minutieuses précautions prises pour faire la sole d'un four avec le *Silver-Sand;* le temps et la dépense de combustible qu'exige cette opération. Il passe en revue, successivement, la *composition de la charge;* la *description de la méthode de travail;* la *production d'un four travaillant à l'Ore Process*, comparée avec celle obtenue avec la méthode aux scrap et fonte.

La question de la forme du four et des changements qu'elle a subis depuis vingt ans, celle de sa construction et de sa durée, font l'objet de trois chapitres assez étendus ; mais c'est surtout sur l'économie du procédé que la note de M. Pourcel donne les renseignements les plus détaillés : le déchet, la houille consommée à la tonne de lingots et les frais de transformation.

La seconde partie du travail de M. Pourcel traite de l'opération de la déphosphoration sur sole basique, d'abord, et ensuite sur sole neutre. Elle est rédigée avec la même méthode suivie dans l'exposé de la première partie. La note donne un historique de son développement en Angleterre et passe en revue, dans des chapitres successifs, pour les procédés sur sole basique et sur sole neutre, ce qui les différencie respectivement quant aux matières premières employées et aux méthodes de travail.

Le rendement économique, comprenant le déchet, la consommation de calcaire et de minerai, la consommation de houille, le tout rapporté à la tonne de lingots, les frais de transformation, etc., font l'objet d'un développement suffisamment circonstancié pour donner une idée des avantages et des inconvénients des deux procédés.

M. Pourcel termine sa note par la théorie des réactions qui se passent sur sole basique ou neutre, et donne en appendice des détails pratiques sur l'obtention d'une scorie phosphorique vendable pour l'agriculture.

Enfin, c'est sur la comparaison des produits obtenus sur sole basique et sur sole neutre que M. Pourcel achève la lecture de sa communication.

Le métal obtenu sur sole basique est caractérisé par son extrême douceur, son grand allongement et sa faible résistance à la traction. Avec 0,12 de C et 0,400 à 0,500 de Mn il donne 30 0/0 d'allongement mesuré sur 20 *cm* et 36 à 38 *kg* de résistance.

Le métal obtenu sur sole neutre, à égalité de teneur en C, possède une résistance plus grande que le premier, tout en conservant le même allongement.

L'administration du Lloyd en a reçu de notables quantités sous forme de longeron et de cornière. L'Amirauté l'a admis, après essais satisfaisants, sous forme de pièces de machine et d'arbres droits ou coudés.

1er Exemple. — Sous forme de cornière de 5″ × 3″ × 7/16″, un métal renfermant

$$C = 0{,}14\,;\ Ph = 0{,}044\,;\ S = 0{,}074$$

a donné aux essais de traction :

	Par pouce carré.	Par millimètre carré.
Limite élastique	19,7 *t* et 20,3 *t*	30,7 *kg* et 31,7 *kg*
Limite de rupture	30,3 *t* et 29,9 *t*	47,4 *kg* et 46,6 *kg*
Allongement	26,5 et 27,0	
Contraction.	47 0/0 et 43,30 de la section primitive.	

2e Exemple. — Sous forme de cornière de 4 1/2″ × 4 1/2″ × 1/2″, un métal renfermant

$$C = 0{,}14\,;\ Ph = 0{,}025\,;\ S = 0{,}05$$

a donné aux essais de traction :

Limite élastique	19,2 *t* et 19,1 *t*
Limite de rupture	29,05 *t* et 29,90 *t*
Allongement.	26,00 et 25,00
Contraction	43,20 et 42,00

3e Exemple. — Sous forme de cornière de 4 1/2″ × 4 1/2″ × 7/16″, un métal renfermant

$$C = 0{,}15\,;\ Ph = 0{,}04\,;\ S = 0{,}05$$

a donné aux essais de traction :

Limite élastique.	20 *t* et 20,50 *t*
Limite de rupture.	29 *t* et 30,00 *t*
Allongement	28,5 0/0 et 28,50
Contraction.	53,5 et 53,20

Le manganèse, dans ces métaux, varie de 0,40, minimum, à 0,55.

Il faut laisser plus de carbone, pour que, laminé en longeron, le métal puisse atteindre la résistance demandée.

Avec 0,207 de C, 0,026 de Ph et 0,07 de S, un métal laminé en longeron a donné :

27,86 *t* ou 43,500 *kg* de résistance par millimètre carré,
Et 27 0/0 d'allongement.

Sous forme d'arbre forgé à la presse, on peut citer un essai remarquable communiqué par MM. Tannet-Walker, constructeurs à Leeds, qui ont commencé à employer le métal fabriqué à Clarence en septembre 1889.

Une barrette découpée dans une chute de la pièce a donné sur 8″ :

Limite élastique . . .	20,3 *t* ou 31,7 *kg* par millimètre carré.
Résistance	28,4 ou 44,2 *kg* —
Allongement.	32 0/0
Contraction	52 0/0

Signé : H. KENDALL.

D'autres essais, faits à Londres, chez David Kirkaldy and Son, sur des échantillons de pièces de machine élaborées par MM. Tannet-Walker, ont donné comme moyenne :

30,7 *t* avec 26 0/0 d'allongement.

Un fait qui se dégage de ces différents essais, c'est que la limite élastique dépasse les 60 0/0 de la limite de rupture et atteint même les 70 0/0 de ce chiffre. Et ce n'est pas là un fait isolé, mais bien vérifié et confirmé par quelques centaines d'essais faits sur des barrettes brutes de forge.

Ces propriétés mécaniques, le métal fabriqué sur sole neutre ne les tient pas du milieu où il a été fondu, mais bien du corps qu'il emprunte à ce milieu, le chrome, qu'il s'incorpore dans la proportion de 0,10 à 0,15 0/0.

M. LE PRÉSIDENT remercie M. Pourcel de sa communication extrêmement intéressante et très complète, qui donne des idées très précises sur cette question qu'il a traitée en maitre.

M. POURCEL est très reconnaissant à M. le Président des paroles flatteuses et sympathiques qu'il vient de lui adresser, et il le remercie de sa grande bienveillance et de sa courtoisie à son égard.

M. Pourcel remercie également ses collègues pour l'attention qu'ils ont bien voulu prêter pendant cinq grands quarts d'heure au développement d'une question trop spéciale pour présenter un intérêt égal pour tous.

M. P. REGNARD signale qu'il a eu l'occasion de visiter, il y a un certain nombre d'années, à Wolsingham, la petite usine anglaise de Stanners close steel works dont a parlé M. Pourcel ; il a été très frappé, comme lui, d'apprendre, à cette époque, depuis combien d'années fonctionnaient ces petits fours à fondre sur sole, qui ont été les ancêtres du four Siemens. On fabriquait, depuis longtemps déjà, dans cette usine, des aciers moulés très remarquables.

Mais, après avoir payé le tribut de ce juste souvenir à M. Atwood, l'inventeur anglais, M. Regnard demande la permission de rappeler la mémoire d'un ancien collègue, M. Tessié du Motay, à qui revient le premier le mérite d'avoir fait de l'acier sur sole basique. C'est en 1871 et en 1872, que, dans l'usine de Commines, dans un four à sole entièrement en magnésie, il a fabriqué des aciers avec des fontes impures de provenances très diverses, et notamment avec des fontes phosphoreuses d'Hayange.

Les aciers ainsi fabriqués ont subi des essais très remarquables et ont été laminés en tôles, dont quelques échantillons ont pu être amenés à une épaisseur de 1/17 de millimètre.

M. Regnard sait bien que ces faits n'ont qu'une valeur historique, puisque les essais de M. Tessié du Motay n'ont pas été couronnés de succès, au point de vue financier, par suite de raisons qui ne rentrent pas dans l'ordre des questions du ressort de la Société; il lui semble qu'il était bon, toutefois, de les rappeler.

M. Regnard demande ensuite à M. Pourcel d'élucider devant la Société un point qui a été discuté et est resté sans conclusion à une précédente séance, à savoir le rôle très intéressant de l'aluminium dans la fusion de l'acier.

Il croit savoir que M. Osmond a fait des essais à ce sujet au point de vue scientifique, et est persuadé que M. Pourcel possède des renseignements sur la valeur de ce procédé. Il le prie donc de vouloir bien éclairer la Société sur deux points spéciaux que, quant à lui, il conteste :

1° L'aluminium abaisse-t-il le point de fusion du métal?

2° Au point de vue du travail ultérieur de ces aciers par laminage ou forgeage, la présence de l'aluminium donne-t-elle à l'acier une valeur spéciale?

M. Pourcel est heureux que la question posée par son collègue et ami, M. Regnard, lui permette de citer le nom d'un jeune savant, membre de la Société, M. Osmond, ancien élève de l'École Centrale, dont les récents travaux sur l'*Acier et sa constitution moléculaire*, faits en partie avec la collaboration de son camarade, M. Wœrth, ont attiré l'attention du monde savant — surtout en Angleterre — qui s'occupe de métallurgie et d'électricité.

M. Osmond, avec la précision qu'il met dans ses moindres recherches scientifiques, a déterminé la température de fusion d'un alliage renfermant 5 0/0 d'aluminium et 94 1/2 de fer, et il a trouvé qu'elle était de 1 475° C, alors qu'un acier doux sans trace d'aluminium fondait vers 1 500°.

Il n'y a donc pas lieu de s'arrêter à cette hypothèse que l'aluminium ajouté à la dose de 1/1000 abaisse le point de solidification d'un bain d'acier. Le professeur Ledeburg, de Freyberg, avait du reste démontré que cette hypothèse n'était pas admissible.

On a dit aussi que l'addition de 1/1000 d'aluminium augmentait de 10 0/0 la résistance à la rupture. Cela se peut expliquer par l'homogénéité moléculaire que donne l'aluminium, élément calorifique et réducteur énergique, dont l'action, ajoutée à celle du manganèse introduit

au préalable dans le bain, purifie celui-ci de toute trace de scorie. Mais l'aluminium, même à des doses notables, n'augmente pas la résistance de l'acier, ni sensiblement sa limite élastique.

Ainsi, M. Hadfield, de Sheffield, a trouvé comme limites élastiques et résistances de deux échantillons renfermant respectivement 0,25 et 0,96 d'aluminium avec moins de 0,10 de carbone :

Limite élastique	20 *kg* et 17,200 *kg*
Rupture.	36 *kg* et 35 *kg*.

Comme le silicium, l'aluminium, jusqu'à la dose de 5,50 0/0, n'ôte pas sa malléabilité à l'acier doux.

Convenablement recuit, un acier à 2 1/4 0/0 d'aluminium supporte le pliage à froid sans criquer ; mais quand la dose d'aluminium se rapproche de 5 0/0, le recuit n'agit plus et la résistance est fortement diminuée.

M. J. Euverte demande à tirer quelques conclusions générales, pouvant intéresser tout le monde, de la communication très intéressante que M. Pourcel vient de faire sur une question un peu spéciale. Il y a deux points qui frappent dans sa communication : il a parlé de l'emploi du minerai pour décarburer, et de la déphosphoration sur sole neutre. L'emploi du minerai dans le four Martin a une importance considérable : il se fait aujourd'hui, dans tous les pays, beaucoup de fours Martin ; c'est là une fabrication qui a de grands avantages, qui ne demande pas beaucoup de place ni beaucoup de capitaux. De même qu'il y a 30, 40 ou 50 ans, on avait deux ou trois feux d'affinerie dans une usine, aujourd'hui on a un ou deux fours Siemens-Martin. Quel est le résultat de cette transformation ? C'est que l'habitude qu'on avait prise d'affiner la fonte par l'addition des riblons va devenir impossible, parce qu'il devient plus difficile de se procurer les riblons, et on sera ainsi forcé d'arriver au procédé mixte du riblon et du minerai. Donc, à ce point de vue, la communication de M. Pourcel a un grand intérêt, puisque, dans un certain nombre d'années, tout le monde sera plus ou moins forcé d'en venir à ce procédé. On voit de suite qu'avec une méthode de fabrication susceptible d'attaquer la sole, de rendre difficile l'entretien du four, la question de la constitution de cette sole prend une grande importance. C'est ainsi que la question de la sole neutre se lie à la question de la diminution de l'emploi des riblons.

Il y a, dans la communication de M. Pourcel, un second point qui a une importance considérable : les industriels, les constructeurs, les métallurgistes, les mécaniciens, et tous ceux qui emploient le métal en comprendront l'importance.

Si, réellement, la sole neutre, grâce à la présence du chromé, donne le moyen de produire des aciers dont la limite d'élasticité est, plus élevée, c'est là un fait très important.

Dans le passé, on avait admis à grand'peine qu'on pût charger le fer à 6 *kg;* l'administration des Ponts et Chaussées n'admet pas, pour le moment, que l'acier soit chargé à plus de 9 *kg*.

Mais lorsqu'il sera démontré qu'on peut élever la limite d'élasticité

par rapport à la charge de rupture, alors le champ ouvert à l'industrie sera beaucoup plus considérable.

Ces deux points sont très importants; ils doivent ressortir nettement de la communication de M. Pourcel.

M. LE PRÉSIDENT donne la parole à M. H. Guyon pour sa communication sur le *Gaz dynamogène et ses applications.*

M. H. GUYON se propose de démontrer que, dans l'état actuel de la science, le moteur à gaz peut être mis non seulement à côté, mais même au-dessus de la machine à vapeur.

Il considère comme barbare le procédé, quelles qu'en soient les variantes, qui consiste à brûler de la houille sur une grille, sans se préoccuper des produits de valeur qu'on peut en retirer par un traitement rationnel (goudrons et tous leurs dérivés).

Au contraire, il est frappé des résultats obtenus par la décomposition de la houille en ses éléments constitutifs et par leur utilisation successive et séparée, suivant leurs propriétés.

Il s'est donc préoccupé de rechercher les moyens susceptibles d'augmenter le rendement calorifique de ceux des produits de la distillation employés comme combustibles.

Il a nommé gaz dynamogène un produit gazeux obtenu par une distillation opérée dans certaines conditions et avec emploi d'appareils spéciaux dont il présente la disposition générale.

Quel que soit le procédé de distillation de la houille, soit celui ayant pour but la production du gaz d'éclairage, soit celui qui vise essentiellement à produire du coke métallurgique, dans tous les cas on obtient du coke incandescent dont la chaleur propre n'est pas utilisée. C'est l'utilisation de cette chaleur propre qui a été le point de départ des recherches de M. Guyon.

Il introduit donc le coke incandescent dans une sorte de vase clos, au travers duquel il fait passer alternativement de la vapeur d'eau et de l'eau.

Pendant la première période, la vapeur d'eau est dissociée, et il se produit un mélange d'hydrogène, d'oxyde de carbone et d'acide carbonique; pendant la seconde période se produit de la vapeur d'eau qui sera à son tour décomposée.

Le gaz dynamogène de M. Guyon est le mélange du gaz ordinaire de distillation et de ces produits de dissociation de la vapeur d'eau.

M. Guyon décrit en détail les phases successives de l'opération telle qu'il la conçoit; il suit par le calcul les productions et absorptions de chaleur et démontre que, par tonne de houille distillée, on peut obtenir 460 m^3 de gaz combustible au lieu de 300 m^3 obtenus dans la distillation actuelle; ce gaz ayant les mêmes propriétés que le gaz d'éclairage pour la production de la force motrice; puis il passe à la description de l'appareil où devraient se réaliser les phases décrites.

Cet appareil se composerait essentiellement de deux récipients pour le coke incandescent, qui peuvent être hermétiquement clos, et d'une chaudière tubulaire intermédiaire.

Un système très complet de tuyaux et de robinets permet d'amener et

de retirer, suivant les phases de l'opération, l'eau, la vapeur d'eau et le gaz.

M. Guyon expose longuement les calculs qui le conduisent à affirmer la supériorité du gaz dynamogène sur le gaz ordinaire et sur tous les autres combustibles.

M. LE PRÉSIDENT remercie M. Guyon de sa communication, qui demande à être étudiée avec quelque soin, avant qu'il soit possible de se prononcer sur la valeur pratique des aperçus énoncés. Il est frappé du fait que l'appareil décrit n'a jusqu'ici été tracé que sous forme de schéma et que l'application de ces idées n'a pas encore été abordée.

M. A. LENCAUCHEZ dit qu'il ne croit pas utile et pratique de modifier la fabrication du gaz d'éclairage, pour l'additionner de gaz à l'eau (CO et H), vu que les pertes qui résulteront des manipulations proposées par M. H. Guyon feront perdre au coke une partie de ses qualités, comme combustible marchand : d'où il suit que la très faible utilisation du calorique d'extinction du coke, sortant des cornues, ne saurait compenser les déperditions de toute nature que de telles manipulations peuvent entrainer.

Si la nécessité de produire du gaz à 1 300 calories le mètre cube ramené à 0 et à 760 se fait sentir, pour donner le mouvement à des moteurs à gaz, rien n'est plus simple que de faire directement ce gaz avec des gazogènes perfectionnés, comme il en existe depuis plus de dix ans et s'il est bon d'ajouter à ce gaz à 1 300 calories un peu de gaz de distillation à 5 350 calories, la chose est très facile ; pour ce, il suffit, d'un tuyau de gaz d'éclairage, réglé par un robinet, pour introduire ce gaz dans la conduite de gaz de gazogène alimentant les moteurs (à gaz).

M. Lencauchez fait remarquer que le coke, en moyenne, sort des cornues à 1 000°, et non à 1 200°, et que s'il était refroidi à 0°, dans un calorimètre il ne pourrait céder par kilogramme que

$$1\,000\ kg \times 0{,}20 \times 1\,000^{\circ} = 200 \text{ calories.}$$

Comme le coke marchand d'usine à gaz possède une puissance calorifique moyenne de 6 000 calories par 1 *kg*, l'utilisation proposée par M. H. Guyon serait théoriquement de :

$$\frac{200 \text{ cal.}}{6\,000 \text{ cal.}} = \frac{1}{30}, \text{ soit } 3{,}1/3\ 0/0$$

qui dans la pratique pourraient tomber à 1 1/2 ou 1 0/0 à peine. Aussi M. Lencauchez se demande s'il est possible de baser une industrie nouvelle sur une si médiocre utilisation, très probablement irréalisable.

D'un autre côté, on sait que pour brûler par l'oxygène de la vapeur d'eau 1 *kg* de carbone, il faut 1,500 *kg* de cette vapeur et que ce genre d'oxydation du carbone absorbe 2 273 calories par kilogramme, auxquelles il faut ajouter le calorique réclamé pour la formation du 1,500 *kg* de vapeur, soit :

$$1{,}500\ kg \times (636 - 15) = 931 \text{ calories.}$$

Au total la combustion d'un kilogramme de carbone par l'oxygène de l'eau réclame

$$2273 \text{ cal.} + 931 \text{ cal.} = 3\,204 \text{ calories.}$$

D'où $\frac{200 \text{ cal.}}{3\,204 \text{ cal.}} = 6{,}1/5$ 0/0 représentent *la quantité théorique de calorique*, que l'extinction du coke sortant des cornues peut fournir à la production du gaz d'eau, qui bien certainement se réduirait à rien dans la pratique, soit à 1 ou 2 0/0 au plus, avec les installations les plus coûteuses et les plus perfectionnées. C'est pourquoi M. Lencauchez ne peut croire que les appareils dits dynamogènes de M. H. Guyon puissent jamais remplacer utilement les gazogènes.

M. Guyon répond qu'en admettant les chiffres donnés par M. Lencauchez, celui-ci commet une erreur dans le calcul du rendement qu'il indique; en effet, pour une tonne de houille distillée, on utiliserait la chaleur contenue dans 720 *kg* de coke en n'en consommant que 30 *kg* environ, ce qui donnerait comme utilisation :

$$\frac{720 \times 0{,}20 \times 1\,000^{c}}{6\,000 \times 30} = \frac{144\,000 \text{ cal.}}{180\,000 \text{ cal.}} = 71 \text{ 0/0 au lieu de } 3\,1/3 \text{ 0/0.}$$

De même dans le second calcul : la vapeur nécessaire au fonctionnement de l'appareil étant produite dans l'appareil lui-même et non à l'aide d'une consommation de combustible dans une chaudière séparée, le rapport calculé par M. Lencauchez devient :

$$\frac{144\,000 \text{ cal.}}{2\,273 \times 30} = \frac{144\,000 \text{ cal.}}{68\,190 \text{ cal.}} = 211 \text{ 0/0 au lieu de } 6\,1/5 \text{ 0/0.}$$

De plus, le gaz obtenu n'est pas du gaz à 1 300 calories le mètre cube, mais bien du gaz à 4 300 calories.

M. P. Jousselin objecte que si l'usine à gaz s'occupe elle-même de la fabrication du gaz dynamogène, il faudra l'emmagasiner dans un gazomètre spécial et le distribuer aux abonnés par une canalisation spéciale, ce qui peut augmenter considérablement le prix de revient du gaz dynamogène.

M. Guyon répond que le nouveau gaz doit, dans sa pensée, être utilisé spécialement pour les appareils moteurs de l'usine (service des extracteurs, casse-coke, etc., etc.), qu'il ne s'est pas encore préoccupé de l'emploi de son gaz en dehors de l'usine, qu'il n'a pas encore fait d'applications de son procédé, mais qu'il espère étudier toutes ces questions lorsqu'il fera dans une usine à gaz ses expériences.

M. le Président ne peut que répéter que pour donner une appréciation il faut attendre la mise en pratique du procédé et les résultats obtenus.

La séance est levée à 11 h. 1/4.

Séance du 15 Mai 1891.

PRÉSIDENCE DE M. E. POLONCEAU.

La séance est ouverte à huit heures et demie.

Le procès-verbal de la précédente séance est adopté sans observations.

M. LE PRÉSIDENT a le regret d'annoncer le décès de deux de nos collègues :

M. Antoine Léon, ancien élève de l'Ecole des Arts et Métiers d'Aix, décédé le 11 mai dernier, dans sa soixante-troisième année, avait fait toute sa carrière dans le service du matériel de la traction de la Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée.

Il avait concouru, dès la fondation de la Compagnie de Lyon en 1847, aux études du matériel roulant, sous les ordres successifs de MM. Alexis Barrault et Sauvage.

D'abord sous-chef d'atelier des machines, il franchit tous les degrés de la hiérarchie administrative et succéda, en 1863, à l'éminent et regretté M. Delpech, Ingénieur du matériel.

Quand il fut admis à la retraite, le 1er janvier 1890, Léon occupait à la Compagnie les fonctions importantes d'Ingénieur principal du matériel et de la traction.

Il était chevalier de la Légion d'honneur.

A. Léon dut le succès de sa carrière à son esprit d'organisation des grands ateliers mécaniques et à l'influence qu'il savait exercer sur les ouvriers qui l'entouraient.

Ses amis regretteront vivement sa mort, survenue presque subitement, au moment où il commençait à jouir d'un repos acheté au prix d'une vie des plus laborieuses.

M. Paul-Noël Lepeudry, enlevé prématurément à l'affection des siens, était entré, dès sa sortie de l'École centrale en 1859, à la Compagnie parisienne du Gaz où, par son mérite, il était arrivé à la position importante d'Ingénieur de la canalisation.

Ingénieur distingué, il rappelait par la droiture et l'affabilité de son caractère le souvenir encore présent à nos esprits de son père, M. Lepeudry, qui fut également Ingénieur de la Compagnie parisienne et fut un des fondateurs de notre Société en 1848.

Il était aussi le neveu de M. Émile Vuigner, l'éminent Ingénieur en chef de la Compagnie de l'Est qui, également fondateur de notre Société, occupa avec la plus grande distinction le fauteuil de la Présidence pendant les années 1854 et 1860.

M. LE PRÉSIDENT donne la liste des ouvrages reçus depuis la dernière

séance, parmi lesquels il signale tout particulièrement *les Budgets comparés des cent Monographies de familles*, par MM. Cheysson et Alfred Toqué. C'est un travail des plus complets; il contient des renseignements très instructifs sur des questions qui touchent particulièrement les Ingénieurs civils. M. le Président se propose d'en donner une analyse dans une prochaine séance.

Il annonce qu'à l'Exposition internationale du Travail qui doit avoir lieu au Palais de l'Industrie, de juillet à novembre prochain, il y aura une section spéciale réservée aux inventions qui pourront être présentées soit en nature, soit en réduction, modèle, dessin, plan, coupe, etc.

Il est donné lecture de la lettre suivante de M. Paul Charpentier :

« Monsieur le Président, je viens vous demander de vouloir bien faire une rectification ou mieux une addition au procès-verbal de notre dernière séance à laquelle je n'ai pu assister.

» A propos de la fabrication de l'acier sur sole basique, mon ami, M. P. Regnard, a cru devoir affirmer que c'était à M. Tessié du Motay que revenait le mérite d'avoir ainsi fabriqué le premier des aciers avec des fontes impures, en 1871-1872.

» C'est bien à un Français que revient en effet ce mérite, mais Tessié du Motay fut précédé, je crois, dans cette voie, par M. Bérard dont je dirigeais l'aciérie en 1867, aux forges de Montataire. A cette époque, nous fabriquions sur sole chauffée au gaz et garnie de chaux magnésienne, des aciers de qualité supérieure avec des fontes de qualité inférieure et phosphoreuses.

» Les appareils fonctionnèrent devant le jury de l'Exposition de 1867, où figurèrent des échantillons de nos aciers dont les cassures rappelaient à s'y méprendre les belles cassures du rosen stahl styrien. Leur résistance égalait celle des meilleurs aciers fondus au creuset; leur densité, après trempes et recuits, atteignait 9.

» Ces essais industriels pratiqués sur une grande échelle relative eurent, comme ceux de Tessié du Motay, le sort de bien des tentatives métallurgiques françaises. Leur réussite avait précédé de plus de dix ans les applications actuelles des procédés anglais de déphosphoration.

» Je ne veux pas rééditer ici le proverbe si connu que, malheureusement, l'industrie française justifie encore journellement; mais il était bon, je pense, de montrer une fois de plus, qu'en ceci comme en beaucoup d'autres occasions, les inventeurs français ont découvert et tracé la route sur laquelle la métallurgie devait s'engager.

» Veuillez agréer, etc. »

M. A. Lencauchez demande à présenter quelques observations relativement aux communications de MM. A. Pourcel et H. Guyon.

1° En ce qui concerne la communication de M. Pourcel, il indique qu'il lui semble bon d'ajouter, après les indications données par M. Regnard, relativement au procédé basique, qu'à la date du 24 février 1863, M. Le Châtelier, inspecteur général au corps des mines, a rédigé, sur la demande de MM. Boigues, Rambourg et C^ie^ (Société de Fourchambault-Commentry), un volumineux mémoire sur l'affinage de la fonte

de fer à température de fusion, pour la production du fer fondu et de l'acier, au moyen d'un four étudié en collaboration avec M. Siemens pour le chauffage. (Bulletin n° 37 du Comité des Forges de France.)

La partie métallurgique rédigée par Le Châtelier est un véritable guide pour la fabrication de l'acier sur sole, par la méthode acide ; c'est un vrai chef-d'œuvre ; six variantes de fabrication disent tout ce que l'on peut faire avec le four Martin et *ceci deux ans avant* (1) *que MM. E. et P. Martin aient commencé leurs premiers travaux pour la méthode qui porte leur nom.* Dans son mémoire M. Le Châtelier donne quelques idées qui font clairement pressentir la méthode basique.

M. Lencauchez se propose de faire pour la Société un résumé de l'œuvre de M. Le Châtelier, pour rendre hommage à sa mémoire et pour défendre une antériorité française digne du plus haut intérêt.

Quant à la sole neutre en fer chromé, M. Pourcel a fait remarquer qu'un peu de chrome réduit par l'affinage passe dans le métal (fer fondu ou acier), en lui donnant toutes les précieuses qualités que le chrome communique au fer. M. Lencauchez fait remarquer que cette addition presque involontaire est très avantageuse dans un grand nombre de cas, mais que cependant tous les fours basiques à sole en magnésie ou en dolomie permettent aussi, par addition de ferro-chrome, de donner au métal avec plus de sûreté la quantité bien titrée de chrome que l'on veut rigoureusement introduire dans ledit métal pour lui communiquer des qualités spéciales ; dans les usines de la Loire, le ferro-chrome y est employé depuis longtemps en grande quantité.

Un grand nombre de praticiens assurent que de très faibles traces de chrome dans le fer fondu présentent pour le fil et la tôle pour tubes soudés au laminoir, deux grands défauts : celui de durcir le fil et celui de détremper les filières, ce qui force à de nombreux recuits, *en donnant, il est vrai, une grande augmentation de résistance au fil,* ce qui ne peut être accepté que pour des emplois exceptionnels et avec une forte plus-value de prix. Enfin, les tôles légèrement et involontairement chromées ne souderaient pas, ce qui les ferait rejeter pour la fabrication des tubes vaporisateurs des locomotives et des chaudières marines. M. Lencauchez croit qu'il y aurait un grand intérêt à être enfin bien fixé sur les propriétés de la présence du chrome dans le fer, pour ces deux cas particuliers.

2° En ce qui concerne la communication de M. Guyon, il fait remarquer qu'il a dit que le coke sortant des cornues à gaz d'éclairage, refroidi dans un calorimètre et ramené à 0 température, peut mettre par kilo 200 calories en liberté, soit un 1/30e du pouvoir calorifique de ce coke brûlé aussi dans un calorimètre : donc le refroidissement du coke *sans combustion* offre au chercheur 3 1/3 0/0 de calorique théoriquement disponible. C'est pourquoi M. Lencauchez ne comprend pas les 71 0/0 de M. Guyon, car il ne voit pas d'où ils peuvent venir.

Plus loin, M. Guyon trouve que M. Lencauchez se serait trompé en disant que l'extinction du coke par la vapeur d'eau ne donnerait théoriquement qu'une utilisation de 6 1/5 0/0, vu que, selon lui, elle devrait

(1) Le premier brevet Martin, n° 66423, date du 3 mars 1865, et le second, n° 68200, du 28 juillet suivant, 1865).

être de 211 0/0. M. Lencauchez avoue n'y rien comprendre, attendu que l'extinction du coke par la vapeur d'eau transformée en gaz à l'eau peut théoriquement oxyder 3 0/0 environ de ce combustible ; donc en chiffres ronds, on a :

1° Calorique sensible dû au refroidissement.	3 0/0
2° Calorique dû à la combustion de 3 0/0.	3 —
TOTAL.	6 0/0

Quant au rapport qui pourrait exister (toujours théoriquement) entre la production du gaz d'éclairage comme valeur en puissance calorifique et la production du gaz à l'eau d'extinction, il serait de : *par tonne de houille distillée*

1° Pour gaz d'éclairage 300 $m^3 \times 5\,350$ calories $= a = 100$.
2° Pour gaz à l'eau.... 90 $m^3 \times 2\,600$ calories $= b = 14$.

Mais ces 14 0/0 sont théoriques et il est plus que probable que dans la pratique ils se réduiraient à bien peu de chose.

300 m^3 est la quantité de gaz d'éclairage donnée par une tonne de houille et 90 m^3 est la quantité de gaz à l'eau que peuvent donner *théoriquement* 30 *kg* de coke, soit les 3 0/0 dont il a été question plus haut. Dans la pratique, par le procédé Tessié du Motay, 1 *kg* de coke donne 1 m^3 de gaz à l'eau ramené à 0° et à 760.

M. LE PRÉSIDENT remercie M. Lencauchez des indications qu'il vient de nous donner. Ces observations sont très intéressantes, et en rappelant les grands travaux de Le Chatelier, M. Lencauchez était sûr de ne trouver que de profondes sympathies pour ce grand Ingénieur.

Il donne la parole à M. O. Buron pour présenter sa communication sur *la transmission de la force par l'électricité.*

M. O. BURON expose d'abord l'avantage et l'économie qui résultent, dans bien des cas, de la substitution des courants électriques aux liaisons mécaniques, hydrauliques ou pneumatiques, pour la transmission et la transformation de l'énergie.

La transformation et la transmission électriques se prêtent souvent mieux que tout autre moyen à l'utilisation des forces naturelles, non seulement lorsqu'elles sont peu accessibles, ce qui est le cas de certaines chutes d'eau, ou lorsque les complications de transmission seraient considérables, mais encore dans le cas où il n'existe aucun obstacle entre la source d'énergie et l'outil producteur, et où la transmission n'est soumise qu'à ses sujétions propres. Ainsi c'est une question d'économie qui a conduit les usines de Schaffhouse à remplacer, par des circuits électriques, les câbles télodynamiques dont elles se servaient pour transporter la puissance fournie par la chute du Rhin à Neuhausen.

Ce qui est particulièrement intéressant dans la transformation et dans la transmission électriques de l'énergie, c'est la variété des emplois auxquels on peut l'affecter. Ainsi à l'hôtel de Burgenstock, au voisinage du lac des Quatre-Cantons, c'est à un même circuit électrique qu'on demande la force et la lumière ; une chute de l'Aar, distante de 4 *km* et fournissant 60 chevaux, actionne une turbine et une dynamo-

génératrice produisant un courant électrique qui fait mouvoir un chemin de fer funiculaire de 936 *m* de longueur, présentant une pente de 53 0/0 ; dans les intervalles entre la marche des trains, le courant électrique est utilisé à monter l'eau du lac pour les besoins de l'hôtel, et le soir il est appliqué à produire la lumière électrique pour son éclairage.

Grâce au bon rendement des machines électriques, à la simplicité des transmissions, on trouve souvent économie à se servir de l'énergie électrique lorsque la puissance doit être fractionnée sur un certain nombre de points dans un espace donné, même lorsque la source de puissance est le combustible. En créant des stations centrales de production de force, on réalise des économies sur la machine, sur la dépense de houille et sur le personnel ; aussi la Compagnie du Nord n'a-t-elle pas hésité, lorsqu'elle a établi l'éclairage électrique des gares de Calais, à construire une station centrale de production d'énergie au moyen de la vapeur et à distribuer électriquement l'énergie nécessaire à la mise en mouvement des machines d'éclairage installées dans chacune des gares.

Dans les ateliers où le fractionnement très considérable de la force conduit à des transmissions compliquées, la transmission électrique devient particulièrement avantageuse et économique. Le conducteur électrique se fixe plus aisément que tout mode de liaison mécanique ; il n'exige aucun soin et ne présente aucun danger ; on peut à volonté le ployer, le mouvoir, le déplacer pendant qu'il transporte un très grand nombre de chevaux, ce qui permet d'amener l'énergie en des endroits où une transmission mécanique ne saurait trouver place. C'est ainsi que les ateliers de la Société Électrique et de la Société Gramme n'ont pas une courroie.

Enfin les transmissions électriques présentent un grand intérêt dans les mines par la souplesse de leur utilisation et par l'avantage que présente ce mode de transport de la puissance de ne pas vicier l'air.

Après avoir exposé rapidement d'autres considérations générales, M. Buron passe à la description de deux transports d'énergie par l'électricité, installés dans les ateliers de la Compagnie d'Orléans, l'un à Vitry, l'autre à Paris.

La Compagnie possède à Vitry une usine où se préparent divers produits d'importante consommation dans le service des trains, et dans les terrains de laquelle elle a installé des caves. Il s'agissait de donner le mouvement aux différents appareils servant à la manutention des vins dans ces caves. Il y avait lieu d'éviter toute cause d'incendie ou d'altération de l'air, on ne pouvait donc installer sur place une machine à vapeur ou une machine à gaz. Du reste il était beaucoup plus économique de demander la force au moteur de l'usine, mais à cause des bâtiments interposés, son transport au moyen d'un câble télodynamique conduisait à une installation compliquée et pouvait présenter des inconvénients. On se décida pour une distribution électrique et on installa une machine compound à courant continu, d'une tension modérée, demandant le mouvement au moteur de l'usine ; cette solution ayant l'avantage de ne présenter aucun danger, de donner le plus haut rendement et de permettre l'usage simultané de la force et de la lumière.

La machine adoptée est du système Rechniewski, dont la puissance

est de 14 000 watts disponibles aux bornes de la machine, donnant à la vitesse de 1 200 tours un courant de 170 volts et de 82,5 ampères. Cette puissance électrique est utilisée, soit à fournir la force motrice dont on a besoin dans le chai et le cellier, soit à assurer l'éclairage complet de l'usine.

La force motrice est donnée par deux réceptrices (Dynamo-Gramme), munies de rhéostats permettant de régler leur vitesse suivant les variations du travail, et de tous les appareils de sécurité nécessaires.

Les appareils sont construits et disposés de telle façon que la marche des dynamo-réceptrices n'ait aucune influence sur la régularité de l'éclairage.

L'éclairage est obtenu par 7 régulateurs à arc, système Bardon, d'une intensité de 8 ampères, placés dans les cours, et 3 régulateurs à arc, système Bardon, d'une intensité de 4 ampères, placés dans le cellier et dans l'atelier d'enduisage des bâches. De plus, 10 lampes à incandescence de 200 bougies et 56 lampes à incandescence de 16 bougies éclairent les magasins et les autres ateliers.

La deuxième transmission électrique de la force a été installée dans les ateliers de Paris; elle met en mouvement, dans la blanchisserie, un tambour destiné au lessivage du gros linge.

Le moteur le plus proche n'était qu'à une distance d'environ 100 *m*; mais une transmission par câble eût été beaucoup trop dispendieuse, par suite de la nécessité d'éviter des bâtiments que l'on ne pouvait traverser, et on ne pouvait songer à l'installation d'un moteur spécial, ce qui aurait été beaucoup trop coûteux comme installation et comme dépense de chauffeur à poste fixe.

La force a été empruntée au moteur des scieries. La station électrique se compose d'une machine génératrice Edison, type C, de 20 ampères et de 110 volts d'enroulement compound, avec ses appareils accessoires de mesures et de sécurité.

La station réceptrice se compose d'un moteur, type P, avec bobinage spécial, commandant, au moyen d'un engrenage à vis sans fin, un tambour tournant à la vitesse de 75 tours par minute; la vitesse de ce moteur est constante, quelles que soient les variations de la force employée par les ateliers.

La ligne réunissant les deux dynamos est formée de fils de cuivre de haute conductibilité de 10 mm^2 de section, recouverts à l'intérieur des bâtiments de matière isolante et enfermés dans une moulure en bois avec couvercle.

Ces deux installations de transmission de force par l'électricité donnent entière satisfaction.

M. le Président remercie M. Buron pour le travail très intéressant qu'il vient de présenter et qui montre combien l'emploi de l'électricité peut faciliter les transmissions de force, même lorsque le travail à transmettre est peu considérable.

M. A. Hillairet a ensuite la parole.

Il se propose de décrire un certain nombre de *transmissions électriques* qu'il a réalisées dans ces dernières années, et de citer quelques autres

applications intéressantes de ce nouveau moyen qui peut compter maintenant parmi les ressources les plus utiles de la mécanique.

Avant d'aborder cette description, il serait nécessaire de rappeler les procédés qui permettent l'accouplement des machines génératrices et réceptrices, les éléments des méthodes d'essai les plus simples et les limites pratiques des résultats qu'on peut obtenir.

Nos regrettés collègues, MM. Cabanellas et Tresca, nous ont, à différentes reprises, entretenus des procédés de réglage et de distribution des transmissions électriques, ainsi que des méthodes dynamométriques qui permettent d'en analyser le fonctionnement.

Il n'y a donc pas lieu d'insister sur ces notions.

Cependant il est utile que l'on veuille bien se souvenir qu'il n'est pas toujours facile de commander une dynamo réceptrice par une dynamo génératrice; que ces deux machines doivent être étudiées spécialement suivant l'usage auquel on les destine, et qu'il est encore moins aisé d'alimenter plusieurs réceptrices avec une seule génératrice.

Les principaux modes de distribution sont :

1° La distribution en dérivation ou en arc parallèle, où tous les récepteurs sont alimentés sous un nombre de volts sensiblement constant. Les procédés qui permettent de maintenir cette constance aux bornes de la génératrice ou entre deux points donnés du circuit, ont été indiqués par M. Marcel Deprez en 1880; et le principe de la machine dynamo auto-excitatrice à enroulement mixte, universellement connue sous le nom de dynamo *compound*, a été exposé par M. Desroziers en 1882.

Ce mode de distribution est le plus répandu;

2° La distribution en série. Ce mode de distribution est moins répandu que le précédent : les procédés qui permettent de le réaliser ne sont pas encore complètement satisfaisants, dans le cas le plus général du moins, car il y a des cas particuliers suffisamment résolus.

Dans cette distribution, tous les récepteurs sont *embrochés* à la suite les uns des autres sur un même conducteur.

Les procédés de réglage consistent, dans ce procédé, à maintenir constante l'intensité du courant qui parcourt le circuit, tandis que le nombre de volts doit varier suivant la charge.

M. Marcel Deprez a également indiqué en 1880 comment on pouvait, dans ce cas, opérer le réglage de la génératrice, mais des difficultés pratiques ont quelque peu entravé le développement de ce procédé.

Bien étudié et bien résolu, ce mode de distribution sera susceptible de rendre, dans l'avenir, les plus grands services : l'avantage d'un circuit de distribution en série sur un réseau de distribution en dérivation peut être considérable au point de vue de la dépense de premier établissement du conducteur.

Pour l'essai des transmissions électriques, l'emploi du dynamomètre et du frein est tout indiqué. Cependant, comme les dynamomètres sont des instruments coûteux et encore peu répandus, on peut, dans la plupart des cas, faire des essais complets avec un seul frein — par substitution — en faisant, au préalable, un tarage dynamométrique du moteur.

La méthode d'essai de MM. J. et E. Hopkinson mérite d'être signalée,

car elle permet avec des puissances restreintes, de faire l'essai de machines six ou huit fois plus puissantes que les moteurs dont on dispose.

Cette méthode consiste, en essence, à manchonner les deux machines génératrice et receptrice, et à envoyer le courant de l'une dans l'autre. En vertu de la liaison mécanique des deux machines, la réceptrice apporte l'appoint de sa puissance au moteur pour mettre en mouvement la génératrice, et de cette façon on n'exige réellement du moteur que le travail correspondant aux résistances passives, mécaniques et électriques, des deux dynamos. En établissant un dynamomètre entre les moteurs et cet ensemble des deux dynamos, on conçoit qu'on puisse mesurer ainsi le rendement du système. A défaut de dynamomètre, on peut opérer soit avec une dynamo précédemment tarée comme moteur, soit avec tout autre moteur taré au frein, comme il a été indiqué plus haut.

Il n'y a ni limite à la puissance qu'on peut transmettre électriquement, ni à la distance sur laquelle on peut effectuer une transmission.

Le prix seul du premier établissement indique la limite de la dépense à ne pas dépasser, et cette dépense a été réduite successivement par l'emploi de tensions successivement croissantes, emploi qui apporte une réduction naturelle du prix du conducteur en diminuant la valeur des courants à transmettre.

Il n'en est pas de même du rendement final de la transmission. Si, au prix de sacrifices, on peut arriver à restreindre la perte d'énergie dans la ligne autant qu'on le veut, on ne peut, pour les machines, arriver à dépasser des rendements individuels supérieurs à 90 0/0, valeur que nous considérons comme limite pratique pour les machines les mieux étudiées et ayant une puissance d'au moins soixante ou quatre-vingts chevaux.

En supposant que la génératrice et la réceptrice aient chacune comme rendement individuel la valeur indiquée plus haut, et que la distance qui sépare ces machines soit nulle, le rendement de la transmission aurait pour valeur $0{,}90^2 = 0{,}81$, valeur qu'il faut considérer comme l'ordonnée à l'origine d'une asymptote, que ne peut dépasser la courbe des rendements, quelque sacrifice qu'on fasse.

M. Hillairet montre ensuite, au moyen de projections, les machines et installations suivantes :

Moteur de la coupole de l'observatoire de Nice, M. Deprez.

Perceuse flexible avec suspension de Cardan.

Perceuse à action directe.

Palan électrique.

Cabestan électrique du Chemin de fer du Nord.

Pompe centrifuge et dynamo.

Pompe Letestu des mines de Hiendelaencina avec sa réceptrice.

Salle des génératrices de l'usine Larousse.

Salle des machines à coudre de l'usine Larousse.

Chantier électrique de l'avant-port de Bilbao. — Entreprise Coiseau, Couvreux et Allard.

Tramways Thomson Houston (États-Unis).

Vues de la transmission électrique de Domène.

Vues des chutes de la Valloirette (Saint-Michel, Savoie).

Vues du fer à cheval de la chute du Niagara.

M. le Président remercie M. Hillairet de sa remarquable et brillante communication, faite avec une clarté telle qu'elle a rendu compréhensibles pour tous les questions électriques qui peuvent paraître peu facilement intelligibles pour ceux qui n'en font pas une étude spéciale.

M. le Président donne la parole à M. A. de Bovet pour sa communication sur *des Installations électriques.*

M. A. de Bovet donne la description de l'installation qui a été étudiée par la Société des Mines d'or de Faria (Brésil), pour l'exploitation d'une mine qui se trouve dans une région éloignée, très dépourvue de ressources et où l'on n'avait à sa disposition que des ouvriers inexpérimentés. Par suite on a voulu n'employer que des appareils d'un fonctionnement sûr et éprouvé et d'un maniement facile.

Les transmissions électriques conviennent parfaitement à la réalisation d'un semblable programme et elles présentent, en outre, l'avantage d'être d'une extrême souplesse et faciles à installer et à entretenir.

Il indique quelle est la situation géographique et la constitution géologique des mines de Faria et donne sur le mode d'exploitation qui a été adopté quelques indications, nécessaires pour faire comprendre pourquoi et comment on a été conduit à faire usage des transmissions électriques.

Les électriciens étant encore plus rares à Faria que les mécaniciens, on a décidé que l'organisation serait faite de façon que la partie électrique fût le plus possible soustraite à l'action des ouvriers. Dans ce but, on admit en principe que les services de l'extraction et de l'épuisement seraient indépendants l'un de l'autre et que le mécanicien de l'extraction ne devrait pas avoir à toucher à la ligne ni à la dynamo pour faire les manœuvres. M. de Bovet explique par quelles considérations on a été amené à adopter cette solution et à employer comme moteurs des turbines légères de préférence à des roues à augets, quoique celles-ci puissent se construire sur place.

Dans les conditions où l'on se trouvait, le programme adopté comportait :

1° Deux transmissions entièrement distinctes, l'une pour l'extraction, l'autre pour l'épuisement;

2° La manœuvre du treuil d'extraction au moyen d'embrayages mécaniques sans rupture de circuit, les dynamos tournant toujours et le mécanicien de l'extraction n'ayant pas à y toucher;

3° La possibilité de doubler la puissance disponible, en doublant le nombre des génératrices et réceptrices et en les couplant en tension, de façon à n'avoir rien à modifier ni à la ligne, ni dans la vitesse des appareils.

4° L'emploi de génératrices et de réceptrices identiques;

5° L'emploi comme moteurs de turbines à axe horizontal commandant les dynamos au moyen d'une courroie;

6° L'emploi de lignes de transmissions aériennes, en câbles nus, et l'installation d'une ligne téléphonique entre le puits et les machines génératrices.

M. de Bovet donne ensuite la description du matériel d'extraction. On voulait, dès le début, être en état de faire une extraction de 50 *t* par jour dans un puits d'une profondeur de 40 *m*. On décida qu'il faudrait pouvoir extraire les 50 *t* pendant la journée, de façon qu'il fût possible de doubler l'extraction en prolongeant le service pendant la nuit.

Il donne ensuite la description du treuil disposé de façon à pouvoir recevoir deux réceptrices, la seconde étant destinée à donner la puissance suffisante dans le cas où l'on doublerait la charge à chaque voyage dans le puits, de telle sorte que la capacité d'extraction restât la même dans l'avenir à 80 *m* de profondeur.

Dans ce service d'extraction, les périodes d'arrêt représentent un temps total beaucoup plus long que les périodes de marche effective ; pendant ces périodes, les moteurs et dynamos doivent tourner à vide, produisant un travail inutile qu'il faut absorber, en ayant soin surtout d'éviter que la suppression de la charge, lors des débrayages, provoque des accroissements de vitesse qui, mauvais en eux-mêmes, le seraient d'autant plus, dans l'espèce, qu'ils conduiraient à faire ensuite des manœuvres d'embrayages sur un arbre tournant à une vitesse excessive. On arrive à obtenir un résultat satisfaisant en faisant usage d'un rhéostat capable d'absorber la quantité de travail arrivant au puits, moins la quantité nécessaire pour maintenir en marche la réceptrice, et en le disposant de telle façon qu'il soit introduit dans le circuit par les manœuvres de débrayages. Ce rhéostat étant, de plus, fractionné et le moteur muni d'un régulateur sensible.

M. de Bovet passe ensuite à la description du matériel d'épuisement qui se prête beaucoup plus facilement que le matériel d'extraction à l'emploi de transmissions électriques, puisqu'il s'agit d'un travail essentiellement régulier et d'un fonctionnement continu et toujours dans le même sens.

L'avantage principal des transmissions électriques pour l'épuisement des puits est de faire disparaître de l'ancien matériel dont on faisait généralement usage pour l'épuisement des puits de mines, tout l'attirail lourd et encombrant des tiges oscillantes. Tout en conservant, comme cela est naturel, la pompe foulante, on se trouve dans d'excellentes conditions en faisant usage de pompes à plusieurs corps avec des pistons de petit diamètre et à marche rapide ; soit, par exemple, trois ou six pistons montés sur des manivelles à 120°, soit encore deux ou quatre pistons montés sur des manivelles à 90°. C'est cette dernière disposition qui est employée à Faria.

Quant aux moteurs, on fit usage, pour l'extraction et pour l'épuisement, de turbines de 20 chevaux munies d'un régulateur.

La commande des dynamos génératrices se fait au moyen de courroies de coton, ce qui ne pouvait présenter aucun inconvénient pour le service de l'épuisement et n'en présentait pas davantage pour l'extraction, le treuil étant muni de freins automatiques d'un fonctionnement très sûr.

Les dynamos employées sont toutes des machines Gramme type supérieur, à excitation en série. Les génératrices et les réceptrices sont identiques, et, afin d'éviter toute erreur et toute difficulté dans la

marche, on a décidé que toutes tourneraient toujours dans le même sens, quitte à faire convenablement les attaches des fils.

Toutes les dynamos ont été établies d'une façon très large, de sorte que l'on pourrait, tout en restant dans des limites de prudence parfaitement admissibles, faire absorber aux génératrices un tiers en plus au moins du travail qu'elles produisent en marche normale.

Le pays étant sujet aux orages d'une extrême violence, l'installation électrique a dû être munie de parafoudres.

M. de Bovet termine sa communication en indiquant les résultats avantageux que l'on a obtenus en faisant usage aux mines de Faria des transmissions électriques dont les points essentiels sont résumés ci-dessus.

M. le Président remercie M. de Bovet de son intéressante communication.

La séance est levée à onze heures et demie.

NOTE

SUR LE

Procédé au minerai ou " ORE PROCESS "

POUR OBTENIR L'ACIER SUR SOLE

AU FOUR SIEMENS-MARTIN

1° Avec des Fontes pures; 2° Avec des Fontes phosphoreuses

PAR

M. A. POURCEL

Définition.

L'acier s'obtient, au four Siemens-Martin, en dissolvant des riblons d'acier ou de fer doux dans un bain initial de fonte : c'est le procédé connu sous le nom de « Scrap Process ». On peut l'obtenir aussi en décarburant le bain initial de fonte avec des additions successives de minerais de fer : c'est le procédé au minerai ou « Ore Process » des Anglais.

Historique.

Ces deux méthodes d'obtenir l'acier fondu, soit par simple réaction du fer doux sur la fonte, soit par l'action oxydante de minerais riches, sont, on le sait, de l'invention de Réaumur, et ont eu depuis de longues années leur application dans la fabrication de l'acier au creuset. Mais leur importance industrielle ne s'est vraiment révélée que du jour où le système de chauffage Siemens à chaleur régénérée a permis de les appliquer à l'obtention au four à sole, de bains d'acier dont le poids a atteint et dépasse même aujourd'hui, 30 *t*.

Le système de chauffage Siemens, au gaz et à chaleur régénérée, fut d'abord appliqué aux fours à fondre l'acier en creusets. On en vit des modèles à l'Exposition de Londres en 1862. Mais son emploi se généralisa tout d'abord en Angleterre aux fours à réchauffer les lingots de métal Bessemer, avant de servir à obtenir l'acier fondu en grande masse, dans le four à sole creuse dont le premier type a été créé par MM. Émile et Pierre Martin, de Sireuil.

Il serait oiseux de reproduire ici la nomenclature des brevets pris par Émile et Pierre Martin; il suffit de mentionner que le four Martin, plus généralement appelé, aujourd'hui, Siemens-Martin, entra en France, dès 1865, dans le domaine industriel, à Sireuil d'abord, et à Firminy ensuite, dans l'usine Verdier.

Bien que la méthode de produire l'acier en faisant réagir le minerai sur la fonte ait été mentionnée, sans doute, après quelques essais seulement, par MM. Émile et Pierre Martin, cependant le genre d'opérer auquel est resté attaché le nom d'*opération Martin* fut d'abord et consiste encore à *adoucir* un bain de fonte avec des additions successives de riblons de fer ou d'acier préalablement chauffés : c'est le « Scrap Process ».

Au contraire, le docteur W. Siemens employa ses recherches, en Angleterre, à produire l'acier en faisant réagir sur la fonte liquide un minerai de fer riche, soit brut, soit à un état de réduction plus ou moins avancé (1). C'était un problème dont la solution présentait des difficultés pratiques qui ne devaient être surmontées qu'après de longs et nombreux tâtonnements.

Cependant, en 1862, et par conséquent avant même la solution pratique obtenue en France par Émile et Pierre Martin, M. Charles Attwood des *usines de Tudhoë*, dans le Durham, prenait un brevet pour fabriquer l'acier au moyen d'un mélange de spiegel et de fer doux fondus ensemble dans un four à réverbère.

W. Siemens fournit le plan de ce four, mais Ch. Attwood, en l'établissant dans sa nouvelle usine de Wolsingham, le modifia, on ne sait pas au juste dans quel sens, mais de telle façon qu'il se mit à l'abri, pour l'avenir, de toute revendication de W. Siemens. On ne saurait préciser l'époque à laquelle l'usine de Ch. Attwood, « Stanners close steel Works », à Wolsingham, dans le Durham, commença à produire l'acier sur sole; l'auteur de cette note ne peut que reproduire ici les renseignements que lui donna, en 1879, à Wolsingham, le directeur de l'usine. Six petits fours

(1) Voir Appendice A.

de 500 à 1 000 *kg* de capacité y étaient alors employés à fabriquer du matériel de mines et de chemins de fer, en acier moulé; ces fours qui, sauf dans la disposition des carneaux, représentaient en miniature la forme du four Siemens-Martin, *fonctionnaient, depuis 1864, sans avoir subi aucune altération*, et toute la production était appliquée depuis 1867 à l'acier moulé sans soufflures (1).

Il paraît donc probable que la fabrication de l'acier sur sole par le « Scrap Process » fut inaugurée à peu près simultanément à Sireuil (France), et à Wolsingham (Angleterre).

Dans tous les cas, c'est aussi par le « Scrap Process » que l'on commença à fabriquer l'acier en 1868 à Crewe, dans les forges appartenant à la Compagnie des chemins de fer du « Great Western », sous la direction de M. Ramsbottom; et aussi aux usines de Newport, près Middlesborough, sous la direction de M. Howson. Le succès du « Procédé Martin », en France, avait éveillé l'attention des métallurgistes anglais qui, tout en s'intéressant aux essais de W. Siemens, commençaient à appliquer le procédé « fonte et riblons » en attendant que le procédé au minerai eût fait ses preuves.

C'était surtout l'usure des matériaux réfractaires qui arrêtait les progrès de ce procédé. La sole était ravagée trop vite sous l'action destructive de l'oxyde de fer; et, bien qu'à Allevard (Isère) on ait eu raison plus tard de cette difficulté en faisant parcourir, par des torrents d'eau fraîche, le pourtour et le fond du laboratoire du four (2), W. Siemens n'avait pas jugé économique, même au pays de la houille, un système de refroidissement aussi énergique juste appliqué à une partie du four où il est si difficile de concentrer suffisamment la chaleur en allure normale.

Ce ne fut qu'à la suite de longs tâtonnements, d'essais répétés dans différentes usines de l'ouest et du sud-ouest de l'Angleterre, dans des fours à réchauffer ou à puddler à chaleur régénérée, provisoirement transformés en fours de fusion; et principalement dans son usine d'essais de Birmingham, que W. Siemens ayant enfin obtenu des résultats suffisamment pratiques forma, en 1868, pour les exploiter en grand, l'usine de *Landore Siemens Steel Company*, près Swansea, dans le pays de Galles.

L'usine de Landore fut mise en activité en 1869 avec huit fours

(1) L'aciérie de Wolsingham appartient depuis quelques années à MM. Rogerson et Cie. On y fabrique du matériel d'artillerie. En 1837, rien n'avait été encore modifié aux six fours primitifs.

(2) Le procédé mixte avec scraps et minerai a été appliqué à Allevard, dans un four à courant d'eau, après l'année 1875, entre 1878 et 1880.

de 7 à 8 *t* et, en 1875, séparée de la première par la rivière *Tawe*, on en avait construit une seconde avec seize fours de même capacité.

Composition de la charge.

L'*Ore Process*, ou plutôt et plus justement nommé, le *Pig and Ore Process*, c'est-à-dire le procédé à la fonte et au minerai, n'a jamais été industriellement appliqué d'une façon rigoureuse en Angleterre, même à Landore. On peut dire que la méthode anglaise, ainsi nommée, a quelquefois servi à des fabrications isolées, mais que dans la pratique elle a été caractérisée par un lit de fusion composé au plus de 3/4 à 4/5 de fonte et 1/4 à 1/5 de scrap d'acier, affiné au moyen d'une addition de minerai riche égale à 18 à 25 0/0 du poids de la fonte.

En 1876, la charge normale à Landore devait être composée de 6 *t* de fonte n° 2 et 1 250 *kg* de scraps d'acier.

Le minerai de Mokta, bleu, en gros fragments, était censé consommé à raison de 1 000 à 1 200 *kg* par charge.

Mais effectivement, la consommation de scrap était plus forte.

La plupart des charges relevées sur les carnets des contremaîtres étaient composées de 5 *t* de fonte et 3 000 à 3 500 *kg* de scraps, avec 5 ou 600 *kg* de minerai de Mokta pour la décarburation. La durée de l'opération variait de 12 à 15 heures, suivant l'état des fours.

C'était alors un procédé mixte, terme moyen entre le *Scrap Process* et *l'Ore Process*, qui en 1880 était encore représenté par ce type de charge : 70 0/0 de fonte n° 2; 22 0/0 de scraps d'acier; 8 0/0 de spiegel à 20 0/0 de Mn, et 20 0/0 du poids de la fonte, de minerai riche, Mokta, Marbella ou Elbe (1). Mais à la même époque, en mars 1876, l'usine de Dowlais produisait des lingots pour rails en travaillant avec une charge qui réalisait mieux l'application de la méthode pure du *Pig and Ore Process*. Dans des fours de 7 *t* de capacité, on introduisait 6 *t* 1/2 de fonte avec le scrap provenant de la coulée précédente, non pesé et évalué à 5 0/0 environ de la fonte, et on employait pour la décarburation 1 700 à 1 800 *kg* de minerai de Mokta, c'est-à-dire 27 à 28 0/0 du poids de la fonte.

L'année suivante, en mars 1877, des relevés faits sur les livres

(1) Documents de fabrication remis à M. Alexandre Holley et communiqués par lui à M. Pourcel.

de roulement des douze fours de 5 à 7 *t* établis à l'usine de Hallside à Newton, près Glasgow, fournissent les chiffres suivants pour les matières consommées dans 128 charges fondues dans une semaine :

Fonte n° 2	683 400	747 600 *kg*	
Bocages fonte	64 200		
Scraps d'acier	142 350	155 900 *kg*	
Fonds de poche d'acier	13 550		
TOTAL	903 000		
Minerai	222 300		
Comme additions on avait employé :			
Spiegel à 20 0/0		21 750 *kg*	
Ferro-manganèse à 50 0/0		6 300 *kg*	
TOTAL		28 050 *kg*	

ou 8 000 *kg* de manganèse.

En résumé, on voit que la charge comprenait 83 0/0 de fonte et 17 0/0 de scraps d'acier et qu'il fallait employer pour la décarburation une proportion de minerai riche égale à 30 0/0 environ du poids de la fonte initiale. C'était un mélange de minerais de Cumberland, de Marbella, et de crasse de marteau.

Dix ans plus tard, en juin 1887, les usines de « Barrow Steel C° » comme celles de Consett, près Newcastle, accusaient une consommation de 2/3 de fonte n° 2, et 1/3 de scraps d'acier par charge, avec, pour affiner, une quantité de minerai égale à 20 0/0 du poids de la fonte. C'était du minerai du Cumberland à « Barrow Steel C° » et du minerai de l'île d'Elbe, à Consett.

Aujourd'hui, Consett, dans ses nouveaux fours de 25 *t*, passe par charge : 20 *t* de fonte n° 2 ; 5 *t* de scraps d'acier et 18 0/0 du poids de la fonde de minerai de l'île d'Elbe ; soit 3 500 *kg* par charge.

Description de la méthode de travail.

Elle est restée sans changement depuis que W. Siemens l'a inaugurée il y a plus de vingt ans ; et telle qu'on la pratiquait alors à Landore, elle s'est répandue dans toute l'Angleterre et l'Écosse, identique à peu près à ce qu'elle était à l'origine.

Les fours ont été modifiés dans leur forme, dans leur capacité, mais la méthode de travail n'a presque pas varié.

Les matières premières : fonte, scrap et minerai, sont intro-

duites froides dans le four. La fonte est cassée en fragments de demi-gueusets pesant en moyenne 40 *kg*, par conséquent, de forme et de poids facilement maniables. Ces *demi-pigs* sont placés un à un sur le plat d'une pelle à long manche et projetés, plutôt que placés, sur la sole du four.

Le fondeur *(melter)* manœuvre la pelle, ses deux aides (1 th. and 2d hand) (1re et 2e main), chacun d'un côté et alternativement, placent sur son extrémité les massiaux de fonte. En quatre minutes des hommes habiles chargent une tonne de fonte. Au-dessus de la fonte on charge les scraps dont les plus lourds fragments sont placés sur les côtés près des carneaux. Les valves de gaz et d'air sont réglées de façon à obtenir une flamme fuligineuse carburante pendant tout le temps du chargement et de la fusion. C'est un tour de main partout pratiqué pour hâter la fusion du scrap dont les fragments arrivent en effet plus lentement au rouge, mais fondent plus rapidement ensuite, une fois chauds, dans une flamme fuligineuse où une grande partie du gaz échappe à la combustion. Le déchet est ainsi diminué.

Quand la fusion est obtenue, environ 3 à 4 heures après la charge introduite, on règle les vannes pour obtenir une flamme claire ne donnant plus qu'un faible panache de fumée à la cheminée. On laisse le bain s'échauffer et la scorie devenir fluide et translucide, refroidie en mince lame, avant de commencer les premières charges de minerai. Le minerai est concassé en fragments de la grosseur double du poing et disposé en tas devant le four, afin de le sécher dès que les matières métalliques ont été chargées et que la plate-forme est libre. On le jette à la pelle au milieu du bain par la porte centrale du four, dite porte de travail, et par portion de 50 à 200 *kg*, suivant la superficie du bain. Le fondeur juge, en effet, que le minerai est entré en suffisante quantité quand l'ébullition qu'il produit au contact du métal fondu est active sur tous les points de sa surface. Dans les fours de 25 *t* les charges partielles de minerai s'élèvent à 200 *kg* et plus. Quand l'ébullition a cessé et que la scorie n'est plus soulevée que par les nombreuses bulles de gaz oxyde de carbone qui couvrent sa surface de petites fumerolles bleuâtres, on procède à un nouveau chargement de minerai. Lorsque les bulles d'oxyde de carbone arrivent à être clair-semées à la surface du bain, c'est là l'indice que la décarburation arrive à sa limite. Le fondeur prend alors un échantillon de métal dans une petite cuillère dont la forme est celle d'un gros haricot long de deux pouces environ. Cet échantillon est refroidi dans

l'eau et cassé sur une enclume avec un marteau à main. Au grain de la cassure et à la fragilité du métal, l'ouvrier apprécie le degré d'avancement de l'opération. Quand il juge le métal bon à couler, il charge le spiegel sur le rebord des portes de chargement du four, de façon à le faire rougir avant de le pousser dans le bain. Le ferro-manganèse s'ajoute soit dans le chenal de coulée, soit dans la poche même, en petits fragments de la grosseur d'une noix, chauffés au préalable.

Quand c'est du métal doux à 0,20 de C au plus qu'on doit fabriquer, le fondeur, quelques instants avant la coulée, détermine une légère ébullition dans le bain au moyen de quelques lopins de fonte d'hématite *introduits froids*. Il procure ainsi un brassage de la masse qui, ramenant à la surface le métal moins chaud du fond du bain, uniformise la température.

L'ordre d'ouvrir le trou de coulée n'est donné que lorsque un rondin de fer de 15 à 20 *mm* de diamètre, promené quelques instants dans la partie la plus profonde du bain, en est retiré à demi fondu.

Voici le procès-verbal d'une opération suivie le 23 mars 1876 aux usines de Dowlais :

Le four N° 6, après avoir opéré sa coulée à 10 heures et demie du matin, a sa sole réparée avec quelques pelletées de " silversand " chauffé.

A 11 heures 40′ on commence à charger la fonte.

A midi 10 on a introduit 6 600 *kg* de fonte et 3 à 400 *kg* de scraps de la coulée précédente.

C'est 1 *t* chargée en quatre minutes vingt secondes.

La fusion est complète à 3 heures et demie de l'après-midi.

Le premier minerai est introduit à 3 heures trois quarts, et, successivement de quart d'heure en quart d'heure, on en ajoute par portion de dix à douze pelletées jusqu'à 9 heures un quart.

On prend alors des échantillons qui dénotent un acier à 0,25 ou 0,3 de carbone.

On charge le spiegel à 9 heures et demie ; on le pousse dans le bain à 9 h. 40 et à 10 heures le métal est dans la poche.

En résumé, 7 *t* de métal ont demandé, pour être fondues, trois heures trente-cinq minutes et cinq heures et demie pour être décarburés avec 1 800 *kg* de minerai de Mokta.

La charge des matières froides s'est faite en trente minutes et il a fallu quarante-cinq minutes pour réchauffer le bain et le ré-

carburer avec 520 *kg* de spiegel à 14 0/0, avant de le sortir du four.

La durée totale de l'opération a été de dix heures vingt minutes (1).

Production d'un four travaillant au " Pig and Ore Process ".

C'est par semaine que se compte en Angleterre la production d'un appareil métallurgique quelconque ; et, pour les fours Siemens-Martin, la semaine comprend onze équipes et demie, depuis le dimanche soir à 6 heures jusqu'au samedi à une heure après-midi. Dans ce laps de temps les fours de Dowlais, de 7 *t* de capacité, produisaient en 1876, en moyenne 72 *t* de lingots avec onze coulées.

A l'usine de Hallside, près Glascow, qui comptait en 1877 douze fours, les uns de 5 *t*, les autres de 7 *t*, les livres de fabrication accusaient pour les N^os^ 5 et 6, de 5 *t*, des productions de 57 à 63 *t* de lingots par semaine ; tandis que les fours de 7 *t* donnaient 82 et 90 *t* exceptionnellement. Les fours de 5 1/2 *t*, de Terrenoire, travaillant au scrap process, produisaient alors, par semaine de douze équipes, 110 à 120 de lingots pour rails, ou bien, 100 *t* de métal pour tôle marine. C'était presque le double de la production des fours de 5 *t* de Hallside.

C'est en agrandissant les fours qu'on a rendu le procédé plus économique. En 1887, les aciéries de Barrow faisaient produire 170 *t* de lingots pour tôle, par semaine, à ses fours de 14 *t* de capacité. Et aux aciéries de Consett, à la même époque, les fours de 17 *t* produisaient, par semaine, 210 *t* de lingots en métal doux.

Aujourd'hui, l'usine de Consett est classée la première en Angleterre pour la production du métal doux au four Siemens-Martin. Dans la dernière semaine de janvier 1890 les livres de fabrication inscrivaient une production de 2 410 *t* de lingots pour tôle de chaudière et tôle de navire, obtenus avec neuf fours de 25 *t*. C'était une production moyenne de 268 *t* par four, avec onze coulées, soit une coulée par équipe.

Le chargement des matières froides : 20 *t* de fonte et 5 *t* de scraps, se fait par trois hommes, en moins de deux heures ; la fusion s'obtient en moins de quatre heures, et la durée de l'affi-

(1) L'usine de Dowlais avait, en 1876, six fours en activité. Les fours 5 et 6 travaillaient sur Ore Process, les autres consommaient les scraps d'acier des fabrications Bessemer.

nage par l'addition de 3 1/2 *t* environ de minerai d'Elbe, spécialement de l'espèce *calamita*, n'excède jamais trois heures et demie à quatre heures. C'est donc dix heures que l'on compte comme durée moyenne d'une opération dans la campagne d'un four.

Économie du procédé.

1° *Le déchet.*

Dans le travail au " Scrap Process " le déchet dépend de la nature de la fonte et surtout des ferrailles plus ou moins menues et légères introduites dans le four.

Il est de 6 0/0 avec de bonnes matières; mais il s'élève à 8 ou 10 0/0 avec une proportion plus ou moins élevée de menus riblons.

Les fontes d'hématite que l'on emploie en Angleterre comme base de la fabrication du métal doux par le " Pig and Ore Process " renferment rarement moins de 7 0/0 de métalloïdes et manganèse. On les produit soit avec les hématites du Cumberland, soit avec celles de Bilbao sans addition de minerai manganésé. Par conséquent, pour maintenir la teneur en soufre dans de justes limites, autant que possible au-dessous de 0,05 *un demi-millième*, on marche en allure chaude avec laitiers courts. Il est rare qu'on livre de la fonte à moins de 2 0/0 de silicium remplissant la condition d'une teneur en soufre au-dessous de 1 *kg* par tonne, soit $\frac{1}{1\,000}$.

A Consett on ne fabrique le métal pour tôle de chaudière qu'avec de la fonte grise N° 1, à 2,80 ou 3,00 de silicium et 1,00 de manganèse, ayant 0,02 à 0,03 de soufre au plus. Or, en plus des corps étrangers alliés au fer, la fonte est toujours imprégnée de sable, de sorte qu'on peut admettre qu'une tonne de gueusets ne fournit guère que 920 *kg* de fer, en moyenne. Par conséquent si le déchet de fusion devait être limité aux corps étrangers autres que le fer, il serait encore de 6 1/2 0/0 avec une charge composée de quatre-vingts parties de fonte et vingt parties de bons scraps, comme à Consett. Mais cette hypothèse ne saurait être admise à la lettre, attendu qu'une unité de silicium passant dans la scorie y entraîne au moins une et demie de fer; donc, normalement, la perte au four ne devrait pas être moindre que 9 0/0 avec des fontes renfermant 2 à 2,50 de silicium. Aux usines de Consett, les additions

étant déduites du poids de l'acier total sorti du four, lingots et scraps, le déchet moyen d'une année a été de 4 0/0. Par conséquent une forte proportion du fer du minerai qui a servi à la décarburation a été incorporée au bain métallique.

En estimant la teneur en fer du " calamita ", de l'île d'Elbe, à 64 0/0, on trouve, tout calcul fait, que sur 9 0/0 de fer introduits dans le bain par le minerai, il s'en est incorporé 5 0/0, soit plus de la moitié.

A Landore, en 1880, les résultats de fabrication communiqués à A. Holley portaient à 2 0/0 le déchet au four sur les matières métalliques entrées. La charge, comme on l'a noté plus haut, comprenait 70 0/0 de fonte N° 2; 22 0/0 de scraps et 8 0/0 de spiegel. On ajoutait, pour l'affinage, 140 à 150 *kg* de minerai riche à 60 0/0 de fer.

Ces résultats avaient été dépassés aux aciéries de Hallside, en 1877. Les livres de fabrication de cette usine inscrivaient, en effet, des sorties plus fortes que les entrées, et cela avec une charge où la fonte entrait pour 82 à 85 0/0 ! En admettant même ces chiffres comme non erronés on ne peut, dans tous les cas, les accepter comme des moyennes.

A Eston, près Middlesborough, aux usines de Bolkow et Waugham, où le minerai employé à la décarburation était, en 1886, du Bilbao espèce Campanil, à 55 0/0 de fer, on comptait le déchet comme couvert par le fer réduit du minerai.

Ainsi on estimait que 1 000 *kg* d'acier étaient fournis par :

525 *kg* fonte n° 2 ;
475 *kg* scraps d'acier.

TOTAL. . 1 000 *kg* de matières métalliques, plus 175 *kg* de Campanil apportant environ 90 *kg* de fer.

Or, le déchet normal d'une charge ainsi composée ne saurait être inférieur à 5 ou 6 0/0, 5 1/2 en moyenne ; il faut donc admettre que 55 *kg* de fer, sur les 90 introduits par le minerai, ont été réduits et incorporés au bain. Ce serait plus de 60 0/0.

Les deux principaux facteurs d'une marche économique, et qui ont la plus grande influence sur le rendement, sont la nature du minerai usé pour la décarburation et la résistance de la sole à l'attaque de l'oxyde de fer. Il sera question plus loin de la façon de préparer la sole pour en faire comme un monolithe réfractaire à l'attaque de l'oxyde de fer.

Quant au minerai, il le faut riche avec un *minimum de silice*. On

ajoutait dans les premiers temps une grande importance à sa forte densité pour augmenter son contact avec le bain métallique; mais la propriété d'exciter une vive ébullition du métal en fusion, alliée à sa fusibilité et à sa faible teneur en silice, a fait rechercher le minerai de Campanil, quoique moins riche et plus léger que le Mokta, l'Elbe et surtout le Marbella, le plus dense de tous. Même aux usines de la côte ouest de l'Angleterre, à prix égal, on a jugé économique l'emploi du Campanil (Bilbao), de préférence aux plus riches hématites du Cumberland, pour accélérer l'affinage.

En résumé, quand toutes les bonnes conditions sont remplies, avec une charge renfermant 80 0/0 de fonte grise, le déchet sur les matières métalliques entrées au four s'abaisse difficilement au-dessous de 4 0/0, et une longue expérience a démontré que l'on obtient en moyenne la réduction de 50 0/0 du fer du minerai usé pour l'affinage.

Ces chiffres ont été vérifiés par des expériences faites par l'auteur de cette note; ils se trouvent également confirmés par les résultats obtenus en Suède, en 1889, à la suite de soixante-dix-neuf opérations de pur « Pig and Ore Process » faites avec des fontes renfermant de 5,70 à 8,50 de matières autres que le fer, et des minerais à teneur en fer variant de 53 à 59 0/0 (1).

Pour du métal dur, à 0,9 de carbone, le déchet a été de 3,19 0/0, tandis que pour du métal doux, à 0,10 à 0,20 de carbone, il a varié de 4 à 6,50 0/0 suivant la nature des fontes. Quant à la proportion de fer réduite du minerai, elle a été de 54 à 56 0/0, et, exceptionnellement, de 30 0/0 pour quelques opérations mal conduites.

L'économie du procédé est donc entière dans ce fait, qu'une unité de fer du mélange de fonte et scraps est sauvée au prix de deux unités de fer, au plus, provenant du minerai employé à l'affinage.

Or, comme l'unité de fer du meilleur minerai coûte, en Angleterre, trois fois moins que l'unité de fer du mélange de fonte et scrap, le scrap étant compté généralement au même prix que la fonte, il s'ensuit que l'application de l'Ore Process donne un profit sur le prix des matières premières.

2° *Proportion de houille consommée à la tonne de lingots.*

Elle est naturellement plus forte avec le procédé au minerai qu'avec celui au scrap, puisque l'opération est plus longue. Ainsi,

(1) *Journal of the Iron and Steel Institute;* n° 1, 1890, page 313.

tandis que le haut prix de la houille gazeuse en France, et la facilité relative de s'y procurer des scraps à un prix inférieur à celui de la fonte, poussaient dès l'origine les usines françaises à l'application du « Scrap Process » ; pour des motifs contraires, le « Pig and Ore Process » rencontrait plus de faveur auprès des usines anglaises, comme répondant mieux à leurs besoins économiques.

Il a été longtemps difficile de connaître exactement la consommation de houille par tonne de lingots, en Angleterre, parce que, dans les installations primitives, une batterie de gazogènes fournissait le gaz, non seulement aux fours de fusion, mais aux fours de réchauffage des lingots.

A Dowlais, en 1876, on comptait 750 *kg* de houille consommée par tonne de lingots ; Landore, en 1880, en accusait un chiffre de 1 800 livres anglaises, ou 820 *kg*. Avec le « Scrap Process », Terrenoire n'en usait pas plus de 500 *kg* aux gazogènes et 150 *kg* de qualité inférieure au four à réchauffer les matières premières.

Aujourd'hui, dans les nouvelles usines anglaises, la proportion de houille brûlée par rapport à la tonne de lingots s'est abaissée à 500 *kg* et même au-dessous. Ainsi l'aciérie de Barrow (Barrow Steel C°) n'accuse qu'une consommation de 425 *kg*, tandis que Consett, avec les gazogènes très éloignés des fours, consomme 500 *kg* de bonne houille de Durham, moins gazeuse pourtant que celle qu'on use à Barrow (1).

Ce progrès dans l'économie de la houille a été suivi, mais non distancé sur le continent, dans certaines usines de Belgique, de Westphalie, de Bohême et de Moravie. On rapporte que dans des fours de 10 *t* a 12 *t* seulement, et avec des charges composées de 15 à 20 parties de fonte blanche à 2 0/0 de manganèse, et 85 à 80 parties de scraps, la consommation de houille a été abaissée au-dessous de 300 *kg* par tonne de lingots. Toutefois l'avantage resterait encore, toute proportion gardée, aux usines anglaises, si l'on ne tenait pas compte de la qualité généralement médiocre des combustibles du continent.

3° *Frais de transformation.*

Les frais de transformation dans les usines françaises fabriquant le métal doux pour la marine, se sont élevés jusqu'à 50 *f* par

(1) Barrow-Steel C°, à Barrow-in-Furness, possède des gazogènes soufflés au moyen de « Kœrtings ». Le gaz entre aux valves à 450° C. environ.

tonne de lingots ; et, aujourd'hui encore, avec de plus grands fours, peut-être n'y sont-ils pas descendus au-dessous de 35 *f*. En Angleterre, ces frais ont dépassé rarement 20 schellings, ou 25 *f*, depuis que la capacité des fours a atteint 14 à 18 *t*. Ils étaient de 18 schellings à Barrow en 1887 ; et, même en 1889, alors que les ouvriers premiers fondeurs gagnaient, à Consett, jusqu'à 8 liv. st., c'est-à-dire 200 *f* par semaine, ces frais n'excédaient pas de beaucoup 25 *f* par tonne de lingots. Ce sont des résultats qui semblent anormaux à première vue, mais que l'on s'explique quand on a constaté d'une part le rôle que joue la mécanique dans les installations anglaises, et, d'autre part, le bon marché relatif des matières réfractaires, de la houille et de tout l'outillage accessoire que l'on use dans la fabrication du lingot au four Siemens-Martin. Il faut noter que le prix du minerai est compté à Barrow et à Consett dans les frais de transformation. En 1880, les aciéries de Landore dépensaient moins de 29 *f* pour faire une tonne de lingots. Voici les prix communiqués à Alexandre Holley et convertis en francs :

Houille, 820 *kg*	5,65 *f*
Main-d'œuvre et réparations.	11,25 *f*
Briques de toute espèce, sable et mortier. .	3,75 *f*
Lingotières et autre matériel en fonte. . . .	3,75 *f*
Transport dans l'usine, wagons, etc. . . .	1,87 *f*
Frais de bureau, impôts, intérêt	1,87 *f*
Frais généraux.	0,63 *f*
TOTAL EN FRANCS	28,77 *f*

Il est juste de remarquer qu'à cette époque Landore ne possédait que quelques fours de 12 *t* sur les 24 installés dans ses deux usines depuis 1875. Le plus grand nombre était encore de 8 *t* de capacité, comme à l'origine.

Bien qu'elles aient dû subir des salaires très élevés, surtout sur la côte Est, les aciéries anglaises sont parvenues quand même à maintenir dans de justes limites les frais de main-d'œuvre en multipliant les moyens mécaniques et en activant le travail au four. Ainsi la coulée à la poche qui s'est pratiqués dès l'origine est loin d'être un élément d'économie négligeable. Elle permet en cinq ou dix minutes de vider le four quand est venu le moment de couler le métal ; tandis que par la coulée directe de l'acier dans les lingotières, c'est une demi-heure et même une heure qu'on dépense, quelquefois, à cette opération. A la fin de la semaine on

peut avoir perdu ainsi un bon nombre d'heures qui, employées à la fusion, auraient élevé notablement le chiffre de la production. Le four Siemens-Martin est un appareil qui dépense une somme presque constante par heure, une fois en marche ; c'est donc le cas de se souvenir du dicton anglais : « Le temps, c'est de l'argent », en disposant le travail pour écourter toujours les opérations et manœuvres nécessaires entre deux fusions.

La coulée à la poche est d'autant plus économique qu'elle s'applique à des poids de métal plus considérables. Pour dix tonnes comme pour vingt-cinq, le service de la poche de coulée est fait par deux hommes : un chef ouvrier et son aide ; et l'économie porte non seulement sur la main-d'œuvre, mais aussi sur l'entretien.

De jour en jour la tendance est à augmenter le volume des fours ; l'usine de Consett qui a mis en marche en 1888 ses fours de 25 *t* a été suivie de près dans la nouvelle voie qu'elle a inaugurée par d'autres aciéries nouvellement établies sur la côte Est ; maintenant on parle d'aller plus loin. Il s'ensuivra une espèce d'emballement comme pour les hauts fourneaux il y a quinze ans, sauf à revenir en arrière après quelques expériences coûteuses. La capacité de 25 à 30 *t* pour le four *Siemens-Martin* semble dès aujourd'hui la plus convenable en tout point. Elle permettrait des fusions de 35 à 40 *t* en pur « Scrap Process ».

Le four Siemens-Martin.

1° *Sa forme.*

Les dessins qui accompagnent cette note montrent l'un des premiers et meilleurs types de fours Siemens-Martin établis en Angleterre. C'est le four de 5 *t* des aciéries de Hallside, près Glascow (n° 2) (*Pl. 1*). Comparé au four de 5 1/2 *t* de Terrenoire, qui réalise le type du four Martin marchant au « Scrap Process » (n° 1) (*Pl. 2*), on voit que le premier avec une voûte plus élevée au-dessus de la sole, un bassin plus profond, un garnissage réfractaire plus épais, comporte un laboratoire plus vaste et une structure plus massive pour traiter cinq tonnes de métal, que le second pour en fournir cinq et demie. L'épaisseur de la couche de métal, au four Martin, atteint rarement 20 *cm* au trou de coulée, attendu qu'on doit se tenir en garde contre le refroidissement qu'occasionnent dans le fond du bain les scraps qu'on y plonge et qui fondent, d'ailleurs,

sans occasionner ni vive effervescence ni projections de scorie. Au four Siemens-Martin, au contraire, on restreint la surface du bain, on l'encaisse, pour ainsi dire, afin de garer les parois contre l'action destructive des projections de scorie résultant du bouillonnement tumultueux que produit le contact du minerai avec le métal liquide. Ici la matière affinante, au lieu de plonger dans le bain, le surnage. Elle n'en refroidit pas les couches inférieures, et le bouillonnement même qu'elle fait naître dans la masse, à l'égal d'un brassage énergique, en mélange toutes les parties, et uniformise ainsi la température dans la masse en fusion. Dans la partie centrale du laboratoire, l'épaisseur du métal dépasse quelquefois 30 *cm*, mais c'est une limite en deçà de laquelle il est mieux de rester.

Les carneaux étagés sont disposés en quinconce, comme ils sont représentés dans les dessins des fours de 5 *t* (n° 2) et de 18 *t* (n° 4), ou bien superposés, comme ils le sont dans le four de 14 *t* (n° 3), présentant la disposition qui fut adoptée dès l'origine et à laquelle on est resté fidèle jusqu'à ces dernières années. Les fours de 14 *t* et de 18 *t* dont les dessins sont joints à cette note datent, en effet, le premier de 1887 et le second de 1888. Ce n'est qu'à la fin de l'année 1889 que la disposition des carneaux parallèles, à un même niveau, et réduits à trois, un de gaz et deux d'air, comme la représente le dessin du four de 15 *t* (neutre) *(Pl. 2)*, fut inaugurée à Consett et appliquée immédiatement dans les aciéries de Middlesborough. Elle préserve mieux, contre les coups de feu, *les blocks*, c'est-à-dire la masse de maçonnerie des carneaux, et répartit plus uniformément la chaleur dans le laboratoire du four. La voûte en courbe plongeante depuis les carneaux jusqu'au centre du four, quoique moins exagérée qu'à l'origine, a été maintenue jusqu'à ces dernières années. Le four de 14 *t* (n° 3) établi en 1887 *(Pl. 1)* en offre un exemple. Cependant, dès 1885, la forme plate ou de surface réglée comme la représentent les dessins des deux fours n°s 4 et 5, commençait à se répandre; et, en 1889, en même temps qu'on modifiait la disposition des carneaux à Consett, on passait de la forme plate à celle à double courbure, *surélevée au lieu de surbaissée* au centre du four.

En agrandissant les fours, c'est suivant le grand axe qu'on les a allongés. La largeur du laboratoire, pour la commodité du travail encore plus que pour la solidité de la voûte, ne saurait excéder onze pieds, et dix pieds sont préférables. Quant à la longueur, avec la nouvelle disposition des carneaux, on l'a portée à vingt-

quatre pieds (7,35 *m*) dans les fours de 25 *t*, et, sans inconvénient, on peut aller à vingt-six pieds, avec un vigoureux appel des gaz, et mieux encore, avec des gazogènes soufflés : c'est là un point important à noter.

2° *Façon de construire la sole.*

La construction de la sole est l'opération la plus délicate qui se présente dans l'établissement du four Siemens. La qualité du sable et la façon de l'employer, ces deux facteurs de la réussite de l'opération, n'ont été découverts qu'à la suite de recherches qui ont retardé de plusieurs années le succès pratique du procédé au minerai. C'est le sable de Sireuil qui fut le premier employé à Landore, mais sans grand succès. Le « silver-sand », sable d'argent, fin, à grains plats comme des paillettes de mica, une fois essayé, fut préféré à tous les autres sables et uniformément adopté par toutes les usines qui installèrent le four Siemens-Martin après Landore. Le « silver-sand » vient comme lest de Belgique, par Anvers ; son prix, franco-bord, n'excède pas 10 schellings, soit sur la côte Est ou sur la côte Ouest d'Angleterre. Il renferme 96 parties de silice, 2 à 3 parties d'alumine et d'oxyde de fer, une partie de chaux et des traces d'alcalis. A la calcination il ne perd guère que 1/4 0/0. On pourrait préparer un sable de composition analogue avec les débris de briques de silice, ou une quartzite naturelle ; mais on sait que les propriétés à chaud d'un sable, celles de s'agglomérer plus ou moins facilement, de donner des surfaces glacées, etc., dépendent autant de sa nature physique que de sa composition chimique.

Dans quelques usines de l'Ouest, on a mélangé avec le « silver-sand » un sable de même nature, du Lancashire, mais généralement on l'emploie seul pour construire et réparer les soles. Sur la plate-forme des fours à fondre, on possède dans chaque usine un ou plusieurs petits fours à sole plate, appelés : « furnaces-sand », fours à sable, qui servent à chauffer au rouge le « silver-sand » avant de l'employer. Voici, en quelques mots, comment se fait le garnissage en sable de la sole du four Siemens-Martin. Les plaques de fond étant recouvertes avec des briques en silice, mises à plat ou de champ, on élève la température du four graduellement, avec les précautions usitées, jusqu'à la chaleur de fusion ou à peu près. On juge, du reste, la chaleur suffisante, lorsque le « silver-sand » chaud, jeté à la pelle contre les briques de silice garnissant les parois de la sole, commence à y adhérer. Dès ce moment on

répartit sur le pourtour de la sole le « silver-sand » par pelletées successives, et c'est par couches graduelles de quelques millimètres qu'on en forme le profil dont l'inclinaison est donnée par le talus naturel que prend le sable chaud. Une couche n'est recouverte par la suivante que lorsque la chaleur a glacé sa surface. On garnit le fond de la cuvette en dernier lieu, parce que la chaleur met plus longtemps à pénétrer le centre que les parties latérales.

Le travail de confection de la sole dure de sept à douze jours, suivant la capacité du four et les épaisseurs données aux parois de la cuvette, qui ne sont jamais inférieures à 0,305 *m* au centre et à 0,600 *m* sur les côtés. Le trou de coulée est percé au foret dans l'épaisseur de ce monolithe de grès artificiel.

Quand le four possède enfin son profil intérieur avec son trou de coulée percé, on y fait deux fusions successives de scorie, afin de remplir les lézardes ou solutions de continuité qui ont pu se produire pendant la cuisson de cette masse de sable aggloméré. C'est la scorie des fusions ordinaires, à 65 0/0 de silice au moins et 25 0/0 au plus d'oxyde de fer, qui sert à cet usage. Enfin, avant d'être mis en allure normale, le four s'essaie à des fusions de fonte ou à des opérations de faible poids, ayant une forte proportion de riblons, afin de ne séjourner que quelques heures seulement sur la sole fraîchement établie.

3° *Durée du four.*

Quand un four Martin était mis hors feu, à Terrenoire, un dimanche matin, le gaz y était remis le dimanche suivant et, après quarante-huit heures de chauffage, il reprenait sa marche normale. Ainsi, on passait sept à huit jours à démolir et à remettre en état la voûte, les carneaux, la sole et les chambres de récupération de chaleur d'un four de 5 1/2 *t.*

A l'usine de Hallside, près Glasgow, un four Siemens-Martin de même capacité que ce dernier demandait, pour sa réfection complète, douze jours au moins, et huit jours pour le chauffer d'abord et cuire sa sole ensuite.

Le coût excessif de la réfection d'une sole explique donc les formes massives qu'on a données au four Siemens-Martin, afin d'en obtenir des campagnes plus longues et de le conserver en bonne allure le plus longtemps possible durant ses campagnes. Il est, en effet, essentiel de noter que la sole ne commence sérieusement à être endommagée, surtout sur ses bords, que lorsqu'on

n'obtient plus une chaleur assez vive pour activer la période de décarburation. Moins de fer du minerai passe alors dans le bain et plus d'oxyde cherche à se neutraliser aux dépens de la silice des parois. Dès lors, l'entretien devient coûteux au fur et à mesure que le déchet augmente. Dans ces circonstances, dès qu'un four ne fournit plus dix coulées par semaine, on l'arrête.

En 1877, tandis que les fours de Hallside, de 5 *t* à 7 *t*, fournissaient jusqu'à 360 fusions entre deux réfections complètes, ceux de Terrenoire n'en pouvaient guère fournir plus de 100 à 110, et, sans doute, beaucoup d'usines du continent sont encore dans la même situation aujourd'hui.

Les fours de Consett sont réparés après seize à vingt semaines, c'est-à-dire après avoir fourni 4 000 à 4 500 *t* de lingots, sans toutefois exiger la réfection complète de la sole, qui résiste à deux et, quelquefois, à trois campagnes. La chaleur vive et soutenue étant favorable à la conservation de la sole, il en est résulté qu'au point de vue de la durée des fours, l'agrandissement des chambres de régénération a eu la même influence. On a d'abord fixé le volume de chacune d'elles à un nombre de mètres cubes égal à la capacité du four, 20 m^3 pour un four de 20 *t ;* mais on ne s'est pas arrêté là, et ce chiffre, à Consett, a été élevé au double. Il en est résulté que la chaleur s'est maintenue plus uniforme entre les renversements de valves, qui se font chaque demi-heure, et que l'allure vive du four se soutient pendant une période plus longue de la campagne. En conséquence, la production par heure a été augmentée et le temps employé aux réparations diminué.

La conclusion est qu'un four muni de grandes chambres de récupération de chaleur, avec trois carneaux parallèles au même niveau et une voûte plate, ou mieux, à double courbure surélevée au centre, paraît réunir les conditions les plus favorables à une production économique par le système du « Pig and Ore Process ».

DEUXIÈME PARTIE

La déphosphoration au four Siemens-Martin.

HISTORIQUE DE SON DÉVELOPPEMENT

Le métal obtenu par la déphosphoration sur sole faisait son apparition officielle en Angleterre en 1887, à l'Exposition de Manchester, et c'est la « Patent Shaft Company », de Wednesbury, qui l'avait fabriqué. A cette occasion, son Manager, M. J. W. Wailes, fit, au meeting d'automne de l' « Iron and Steel Institute », tenu à Manchester, une communication emphatique qui fut accueillie avec le même enthousiasme qu'eût excité la révélation d'un procédé nouveau. C'est que les métallurgistes anglais étaient bien aise d'apprendre qu'on avait enfin rendu pratique une fabrication que bon nombre d'entre eux, pour l'avoir vue de leurs yeux, savaient être en marche courante dans plusieurs usines du continent depuis longtemps déjà. C'était surtout l'usine d'Alexandrowski, près Saint-Pétersbourg, qui avait été l'objet d'un pèlerinage de leur part, parce qu'on y traitait des fontes de Cleveland, et M. Gilchrist avait été un des premiers à l'accomplir.

La communication de M. J. W. Wailes (1) avait pour but non pas de faire connaître comment étaient résolues les difficultés pratiques du nouveau procédé, mais d'apprendre que c'était lui, M. J. W. Wailes, qui les avait vaincues en se servant d'un four rond, à sole fixe et à voûte mobile, le contraire du four Pernod, breveté par lui et MM. Batho, J. Riley, etc. Des réactions, il n'en était pas question, attendu « qu'elles sont du domaine du chimiste plutôt que de l'Ingénieur », et M. Wailes est ingénieur, c'est-à-dire homme technique, s'intéressant principalement aux questions de mécanique et de construction. Cependant, il ne peut s'empêcher de manifester naïvement l'étonnement que lui causent les résultats obtenus : « Quand on constate, dit-il, que c'est avec 80 parties d'une fonte renfermant 0,15 de soufre et 3,75 de phosphore, et 20 parties de bons riblons, que l'on obtient un excellent métal doux, on peut alors s'imaginer l'effet que produit sur le métal une énergique oxydation sous l'influence d'une température très élevée. »

Le four rond de Wednesbury avait la sole et les pieds droits

(1) *Journal of the Iron and Steel Institute*. 1887, vol. II.

garnis avec des briques faites d'un mélange de dolomie cuite et de goudron et comprimées à plusieurs centaines d'atmosphères. Les réparations entre deux coulées se faisaient avec de la dolomie cuite pulvérisée, simplement jetée à la pelle sur les parties endommagées. Voilà, en somme, à quoi se réduisaient les choses intéressantes de la communication de M. J. W. Wailes, au mois de septembre 1887. L'année précédente, au meeting d'automne, M. Harbord avait rendu compte de quelques essais faits à Wednesbury dans un de ces fours ronds de 5 *t*, à garniture basique, construits par M. J. W. Wailes; mais cette communication de M. Harbord, reproduite au Congrès des Mines et de la Métallurgie tenu à Paris en 1889, ne touchait qu'à des questions de pure théorie, et, quelque intéressante qu'elle parût alors, elle n'avait produit qu'une faible sensation en comparaison de celle de M. Wailes, *laquelle proclamait le fait accompli.* En quelques mois on vit se monter des fours Siemens-Martin dans la plupart des usines du Staffordshire; et, naturellement, puisque la forme ronde avait fait ses preuves à Wednesbury, c'est celle-là qui fut uniformément adoptée. Mais l'engouement ne fut pas de longue durée.

L'usine de Brymbo (Staffordshire), sous la direction de son intelligent *Manager*, M. Darby, avait fait aussi ses premiers essais de déphosphoration sur sole dans un four rond, de cinq tonnes, qu'elle avait abandonné aussitôt que s'était posée la question de mettre le procédé en marche courante. Au four rond, qui *donnait lieu aux plus grands troubles*, on avait substitué un four rectangulaire de douze tonnes de capacité. Voilà ce que vint déclarer M. Darby au meeting du printemps de « Iron and Steel Institute », tenu à Londres en 1889.

M. W. Richards, d'Eston, manifesta alors tous ses regrets d'avoir cru trop facilement sur parole les déclarations optimistes de M. J. W. Wailes. Il avait, lui aussi, monté un four rond de dix tonnes, dont la marche avait été désastreuse. La chaleur était rien moins qu'uniforme dans le laboratoire où la flamme suivait le plus court chemin sans s'étendre sur les côtés, et l'opération de la coulée demandait chaque fois deux, trois et même quatre heures de travail (1). En ovalisant le four on n'avait pas obtenu d'amélioration sensible dans la marche, et, finalement, bien qu'il y eût plus de difficulté à maintenir le garnissage basique dans un four de

(1) Avec des gazogènes soufflés, l'inconvénient signalé eût été moindre.

forme rectangulaire, c'est à cette solution qu'il avait fallu arriver pour obtenir enfin des résultats pratiques (1).

En résumé, on voit que, pour le procédé basique comme pour le procédé acide, le succès de l'opération avait été longtemps retardé, en Angleterre, par les difficultés de construction et d'entretien inhérentes à la forme massive, à la cuvette profonde que comporte le four Siemens-Martin pour le mode de travail qu'on y pratique. La forme ronde avait résolu les difficultés de construction, mais absolument compromis le côté économique de l'opération. On est revenu à la forme rectangulaire, mais en adoptant dans les installations nouvelles les régénérateurs cylindriques placés sur les côtés du four. L'avantage de cette disposition est notable pour les fours à déphosphoration où l'entraînement des poussières est une cause d'arrêt fréquent, à cause de l'obstruction des empilages qui se produit après un nombre d'opérations très limité. Elle permet un refroidissement rapide et un accès facile de tout le système et diminue considérablement le temps de chômage occasionné par ce genre de réparation très pénible et très long, avec les fours disposés au-dessus des régénérateurs.

Les usines anglaises du nord du pays de Galles, du Staffordshire principalement, comptent aujourd'hui un nombre important de fours de 12 à 20 *t* de capacité, pratiquant la déphosphoration d'une façon courante et économique pour produire le métal extra-doux qui a remplacé le fer de la contrée dans la plupart de ses applications et principalement dans celle de l'industrie du fer-blanc (2)

Les matières premières et la méthode de travail sur sole basique.

La fonte traitée sur sole basique doit être de composition aussi régulière que possible. On l'exige avec un minimum de silicium et des traces de soufre, tandis que la teneur en phosphore peut s'élever à 3 0/0 et plus (3). C'est une fonte blanche, à cassure cristalline, renfermant 2 0/0 de manganèse environ, 0,50 de silicium en moyenne et 0,05 de soufre, qui est fabriquée avec un lit de

(1) Le four qui fut substitué au four rond, à Eston, pour la déphosphoration sur sole, est représenté par le dessin n° 4 qui accompagne cette note. Il n'a fonctionné que quelques mois, mais avec de bons résultats. C'est le procédé acide qu'on pratique chez Bolkow-Vaugham vu la quantité de bons scraps dont on y dispose.

(2) « The round oak Works » appartenant à lord Dudley, s'installent pour produire 50 000 *t* de lingots par an. « Park Gate Iron and Steel C° Limited » possède deux fours de 20 *t*. Il faut citer encore : « The Staffordshire Steel and Iron C° » et « Frodingham Iron Company ».

(3) Mais avec moins de phosphore le traitement est moins coûteux.

fusion où entre principalement comme base, avec quelques minerais de Northamptonshire, la scorie de puddlage et de réchauffage *(tap-cinder)*, accumulée depuis des siècles dans la « contrée noire ».

L'oxyde de fer qui sert à l'affinage est emprunté de préférence à un minerai artificiel préparé en soumettant à une fusion en tas ces mêmes scories dans le but d'en séparer la presque totalité de la silice. Le produit qui en résulte, dense et compact, est surnommé « bull-dog ». Celui qui sert de minerai affinant à l'usine de Brymbo renferme 0,50 à 1,00 de silice, 0,85 d'acide phosphorique et 64,00 de fer à l'état de Fe^2O^3.

En résumé, on ne fixe pas de limite au phosphore et à l'acide phosphorique contenus dans la fonte et le minerai qui servent de matières premières fondamentales dans l'opération sur sole basique en Angleterre; mais on y veut le soufre à l'état de traces, et le silicium et la silice réduits au minimum.

Telle est la formule invariable appliquée au choix des matières premières par les usines du nord de Galles et du Midland qui pratiquent la déphosphoration sur sole. La formule de travail du four, une fois établie, n'a pas été adoptée avec moins d'uniformité, ni pratiquée avec une moins rigoureuse méthode. Voici en quoi elle consiste. La moyenne des charges est composée de 75 parties de fonte et 25 parties de scraps de toute nature, fer doux et acier, non sulfureux, avec 0,10 à 0,30 de phosphore. La chaux déphosphorante entre en majeure partie sous forme de castine concassée en fragments gros comme une noix.

Quand le four est prêt à recevoir la charge, on distribue sur le pourtour de la sole les deux tiers environ du poids total de la castine ; on introduit ensuite les « pigs » de fonte parmi lesquels on jette le restant de la castine et quelquefois une partie du minerai du dosage, mêlés ensemble. Le scrap est placé au-dessus et au centre du four. Une fois la fusion obtenue, c'est-à-dire quatre heures environ après la charge finie, on attend que la scorie ne soit plus surnagée par des fragments solides agglomérés de minerai et de chaux, qu'elle soit bien uniformément fluide, pour ajouter par pelletées successives le restant du minerai accompagné d'une certaine proportion de chaux cuite.

On prend le premier échantillon lorsque l'ébullition du bain commence à se calmer, et l'on arrête les additions lorsque le dernier échantillon pris, écrasé sous le pilon et refroidi dans l'eau, se replie à froid sur lui-même sans gerçure. Quand le bain est jugé suffisamment chaud au moyen d'un brassage opéré avec des

rondins de fer, on fait la coulée en ajoutant le ferro-manganèse dans la poche.

La scorie est conservée dans le four pendant l'opération et coulée en même temps que le métal. En opérant autrement, en la coulant pendant la fusion, on s'expose, dit M. Darby, à augmenter le déchet (1). Or, comme son poids représente environ 25 à 30 0/0 de celui du métal, il faut donner au laboratoire un volume notablement plus grand pour traiter sur sole basique un tonnage déterminé.

Au besoin, les additions de minerai faites dans le bain peuvent consister en hématite à gangue peu siliceuse, et, plutôt, silico-calcaire ; mais on risquerait d'endommager profondément la sole en employant un oxyde de fer naturel pour l'introduire en même temps que les « pigs » de fonte.

Lorsque les matières premières n'introduisent pas plus de 0,02 à 0,03 de soufre dans le bain et que la fonte contient 2,00 de manganèse, les échantillons, avant le ferro-manganèse, se martellent avec les bords exempts de crique. Aux aciéries de Brymbo la proportion de castine est de 25 0/0 du poids rendu en lingots ; celle de l'oxyde de fer affinant, à 92 0/0 de Fe^2O^3, atteint en moyenne 15 0/0 de ce rendement. On use en plus 35 à 40 *kg*, par tonne de lingots, de chaux cuite (2).

Le métal immédiatement avant la coulée, avec 0,09 à 0,10 de carbone, contient toujours environ 0,20 de manganèse, avec moins de 0,05 de phosphore, dans les opérations bien réussies ; mais généralement on juge comme très convenable la teneur en phosphore qui ne dépasse pas 0,10.

En résumé, on voit que si la formule de travail, comme celle des matières premières, s'écarte notablement en Angleterre de celle suivie sur le continent, le produit, dans tous les cas, n'en diffère pas.

Le rendement économique.

Les renseignements fournis sur ce chapitre sont tous plus ou moins sujets à caution. En effet, bien que l'on se soit fait partout une règle de se conformer rigoureusement aux formules du travail et du choix des matières premières reconnues les meilleures

(1) L'expérience a prouvé que c'est là une opinion erronée.

(2) A l'usine de Park Gate, la charge est de 14 *t* de fonte et 5 *t* de scraps. On consomme pour l'affinage 12 1/2 0/0 de minerai (pottery mine) et 15 0/0 de calcaire par rapport à la tonne de lingots.

pour accélérer l'opération, donner un produit constant et, surtout, garantir le revêtement basique, cependant le « Pig and Ore Process » sur sole basique est encore plein d'aléa, et on se demande si on arrivera jamais à lui donner la régularité de production qu'il a atteint au four acide.

On prétend produire, avec un four de 20 *t*, 180 000 *kg* de lingots par semaine, avec une consommation de 560 *kg* de houille par tonne.

Le rendement en lingots serait de 92 à 93 1/2 0/0 des matières métalliques usées : fonte, scraps et ferro-manganèse. Un four donnerait plus de 4 000 *t* de lingots entre deux réfections totales.

Ce sont là les résultats fournis par l'usine de Brymbo et qu'il faut accepter tels quels, en faisant toutefois cette réserve qu'ils ne représentent pas la moyenne des résultats obtenus dans la plupart des aciéries qui appliquent le procédé : celles de Parkgate ou de Wednesbury, par exemple.

Le garnissage neutre.

Au lieu de garnir le laboratoire du four Siemens-Martin avec des matériaux basiques, on l'a garni avec des blocks de fer chromé, et ce garnissage a été surnommé *garnissage neutre*. M. Gilchrist a reconnu implicitement le bien fondé de cette appellation, quand, au meeting de Manchester, il a qualifié de progrès réel *(improvement)* l'emploi d'une couche de deux ou trois pouces de fer chromé pour séparer, dans les fours basiques, les parties en silice de celles en dolomie. Le fer chromé ne se laisse attaquer aux plus hautes températures, ni par les matériaux acides, ni par les matériaux basiques : ce sont là, sans conteste, les qualités d'un *matériau* neutre.

On cimente ensemble les blocks de fer chromé au moyen d'un mortier généralement composé de trois parties, en volume, de minerai pulvérisé et d'une partie de chaux; mais il faut avoir soin d'employer pour cet usage le minerai le plus riche dont on dispose, exempt de veines de serpentine.

Les blocks eux-mêmes, pour faire un bon usage, doivent non seulement répondre à une composition chimique où la silice se trouve au-dessous de 5 0/0 et le peroxyde de chrome à la teneur d'environ 45 0/0, mais encore se présenter exempts de clivages, durs et compacts avec des arêtes vives. Voici l'analyse d'un mi-

nerai ayant donné de bons résultats, employé comme garnissage neutre :

Cr^2O^3	44 10
Al^2O^3	6 72
FeO	22 42
MgO	23 14
SiO^2	3 16
	99 54

On a dit que le revêtement en fer chromé ne cède aucun de ses éléments ni au métal ni à la scorie, mais c'est là une affirmation trop absolue. Le block de minerai résiste, en effet, ou, du moins, ne s'use d'une façon qui ne devient sensible qu'à la longue; mais le mortier qui garnit les joints est assez rapidement attaqué par une scorie fluide et même par le métal. Par conséquent, afin de conserver intact le plus longtemps possible le garnissage neutre, il est absolument indispensable, après l'avoir consolidé par une cuisson de quarante-huit heures au rouge clair, de le recouvrir, à chaud, d'une couche de quelques centimètres de calcaire ordinaire ou dolomitique broyé, formée graduellement par mises de quelques millimètres. On opère absolument comme pour établir la sole en « silver-sand » dans le procédé acide; et, du reste, au lieu d'un sable basique, on se sert d'un sable siliceux, ainsi que cela se fait aux usines de la Felguera, dans les Asturies, quand on veut pratiquer le traitement acide sur sole neutre.

Les matières premières et la méthode de travail sur sole neutre.

L'obligation de n'user que des matières premières d'une nature particulière dans la fusion sur sole basique, a fait du « Pig and Ore Process » appliqué à la déphosphoration, presque une industrie type appropriée aux ressources naturelles d'une région limitée de l'Angleterre. La « contrée noire », en effet, grande productrice de fer depuis des siècles, et dont l'industrie allait s'éteignant, a eu la bonne fortune de *renaître de ses cendres*. Ses vieux détritus, ses montagnes de scorie qui encombraient ses terrains, sont devenus pour elle la source de nouvelles richesses, en fournissant presque sans dépense l'élément principal de fabrication d'une fonte im-

propre à donner du bon fer soudé, mais excellente pour fournir du fer fondu.

Dans le Cleveland on ne fait pas de fonte blanche.

Lorsqu'on a dit, au Congrès des Mines et de la Métallurgie, que la fonte Thomas, qui est une fonte truitée avec moins de 1,00 de silicium, ne coûtait pas plus de 1 à 2 schellings par tonne que la fonte n° 3, aux hauts fourneaux de Middlesborough, on a généralisé un fait qui ne doit pas l'être.

La fabrication de la fonte, marque Thomas, n'est faite, dans ces conditions de prix, que par deux ou trois usines ayant à leur disposition des stocks d'anciennes scories de puddlage et de réchauffage, ainsi que des scories manganésées de cornues Bessemer acide. Or la fabrication du fer va toujours en diminuant dans le Cleveland ; le Bessemer acide n'y est pas alimenté non plus par de grandes productions ; par conséquent les hauts fourneaux de la contrée ne tablent pas sur la fabrication de la fonte Thomas pour assurer leur avenir.

Ce que l'on a voulu essayer, c'est de traiter la fonte grise ordinaire de Cleveland avec un minimum de soufre, comportant nécessairement la présence de 1,8 à 2,00 de silicium, pour obtenir un produit fondu de bonne qualité. La sole neutre se trouvait tout indiquée pour le traitement d'une telle fonte, avec, pour l'affiner, un minerai ou une scorie suffisamment riche en fer et ne renfermant pas une trop forte proportion de silice.

La moyenne des fusions faites aux usines de Clarence (Bell Brothers, l. m. d.), depuis l'origine, a été composée avec 2/3 de fonte grise Cleveland et 1/3 de riblons, menue ferraille et scraps d'acier mélangés. La silice du silicium de la fonte, plus celle du sable adhérant aux gueusets, a été comptée à 4 0/0 environ dans le mélange ; le phosphore, à 1,2 au maximum, et le carbone, à 2 0/0. Pour l'affinage et la déphosphoration, on a employé, par rapport au poids de fonte grise, *30 0/0* de calcaire cru et *15 à 20 0/0* de divers minerais de fer (1).

On prend pour charger les matières les mêmes précautions qu'au four basique, c'est-à-dire que la fonte est placée sur une couche de calcaire préalablement formée sur tout le pourtour de la sole afin d'en protéger les parois contre les chocs des blocks que l'ouvrier jette plutôt qu'il ne pose dans le four. On introduit

(1) Oxydules provenant du travail des lingots à la presse « tap-cinder » des fours à réchauffer à sole garnie avec de la scorie basique ; minerai du Cleveland cru et grillé ; minerai de Campanil pour finir l'opération.

avec la fonte les 2/3 ou les 3/4 de la castine et la moitié du minerai du dosage ; les riblons sont ensuite distribués au-dessus et sur les côtés. On met deux heures pour charger et quatre heures pour fondre 18 *t* de matières, tout compris. La scorie noire qui recouvre le bain immédiatement après la fusion complète du métal renferme plus de 50 0/0 d'oxyde de fer :

$SiO^2 = 6{,}00$ à $10{,}00$; $PhO^5 = 6{,}50$; $FeO + Fe^2O^3 = 51{,}50$.

Une heure après, quand la chaux s'est détachée des parois de la sole et s'est incorporée à la scorie en lui donnant une teinte gris foncé, celle-ci ne contient plus qu'une faible dose de fer, tandis que sa teneur en acide phosphorique a augmenté :

$SiO^2 = 22$ à 24 ; $PhO^5 = 8, 5$ à 10 ; Fe à l'état de FeO, $= 4$ à 6 ;
$CaO + MgO = 48$ à 50.

On procède alors à la coulée de la scorie dont on ne laisse qu'une très faible couche sur le bain (1).

Une série d'analyses faites sur le métal, à ce moment, a fourni comme moyenne :

$Si =$ traces ; $Ph = 0{,}40$; $C = 1{,}34$.

Par conséquent, dans cette première partie de l'opération, tout le silicium est éliminé ; le phosphore l'est aux deux tiers, et le carbone, dans la proportion de un tiers seulement.

Le fer du minerai entré avec la fonte s'est aussi incorporé au bain dans la proportion moyenne de 45 à 50 0/0.

Une fois la scorie évacuée du four, l'opération suit son cours comme à l'ordinaire et se termine, ainsi qu'on l'a dit plus haut à propos de la méthode de travail sur sole basique.

La scorie qui accompagne le métal dans la poche renferme toujours de 11 à 13 0/0 de fer ; 20 0/0 de silice, et 7 à 10 0/0 d'acide phosphorique, suivant que le minerai affinant en a plus ou moins fourni. Elle est ainsi suffisamment fluide pour éviter ce grave inconvénient de l'encombrement rapide de la sole et de l'engorgement du trou de coulée, que procure une scorie plus calcaire.

Le rendement.

Le rendement est variable avec la nature des fontes employées. Comme moyenne, avec des charges de 15 *t* de matières métalli-

(1) Voir Appendice B.

ques, 63 parties de fonte grise et 37 de riblons, on a obtenu 1 200 à 1 300 *kg* de lingots par heure de fusion.

Comme exemples de bonne marche (1), on peut citer les résultats hebdomadaires suivants :

Métal entré au four, 159 *t* et 164 *t*.
Lingots produits, 149 *t* et 154 *t*.
Houille par tonne de lingots, 507 et 506 *kg*.
Déchet au four, 5,90 0/0.

Dans une campagne de vingt-deux semaines entre deux réparations du four, on a fabriqué 2 952 *t* de lingots avec un rendement en lingots égal à 90,50 0/0 des matières métalliques entrées au four. Le rendement par semaine a été un peu supérieur à 134 *t* de lingots avec un peu moins de dix charges ; et la houille consommée depuis l'allumage jusqu'à la mise hors feu a été de 647 *kg* par tonne de lingots. Il n'est pas inutile de rappeler que la production a pu s'élever à 180 *t* par semaine quand on a employé des fontes semblables à celles du Staffordshire avec 0,60 de silicium, sans sable adhérent aux gueusets, et 1,20 de phosphore seulement.

Frais de transformation.

On compte que les frais de transformation au four basique sont supérieurs, en Angleterre, de huit schellings à ceux du four acide, autant à cause de la plus faible production qui entraîne une consommation de houille plus élevée, que par le fait de l'entretien du garnissage et de l'emploi de calcaire cru ou calciné dans le dosage.

Avec le garnissage neutre, quand le prix de la main-d'œuvre directe peut être abaissé à six schellings, les frais de transformation, malgré le coût du fer chromé, peuvent ne pas dépasser vingt-huit schellings. Il faut faire remarquer que la magnésie frittée coûte aussi cher que le fer chromé en blocks : 110 à 120 *f* la tonne, l'un ou l'autre produit, dans les usines belges, par exemple. On voit donc que l'emploi du garnissage neutre peut être dicté par un motif autre que celui de la nature même des produits à transformer : celui d'une simple économie.

Théorie de l'opération.

Elle peut être résumée en quelques mots.

Au contact d'une source abondante d'oxygène fournie par la

(1) La teneur en silicium des fontes a varié de 1,80 à 3 0/0 ; le sable adhérent, de 1 à 2 0/0.

flamme et le minerai, le silicium, le phosphore, le carbone et le manganèse s'oxydent dans l'ordre que leur assigne leur coefficient thermique. Les analyses qui ont été données plus haut prouvent que, pendant la fusion, le silicium passe tout entier dans la scorie ; le phosphore s'oxyde ensuite en proportion plus grande que le carbone. Lorsque l'on traite une fonte blanche où le manganèse est incorporé à l'état de carbure, c'est ce corps qui résiste le plus énergiquement à l'action oxydante. Tandis que le phosphore est déjà réduit à l'état de traces, 0,015 à 0,02, on dose encore dans le métal 0,15 à 0,20 de manganèse.

Dans une opération faite avec 80 parties d'une fonte à moins de 0,50 de silicium, et 20 parties de bons scraps d'acier, la scorie coulée en temps normal, c'est-à-dire une heure environ après la fusion complète des matières, avait la composition suivante :

Si	O^2 =	7,40
Ph	O^5 =	13,74
Ca	O =	58,62
Mg	O =	7,65
Fe	O =	6,55
Mn	O =	1.50
Al^2	O^3 =	3,56
S	=	0,36
		99,38

Le métal correspondant renfermait encore 1,97 de carbone, mais seulement 0,09 de phosphore. Ainsi, avec un minimum de silicium, le phosphore présent dans la charge, à raison de 0,95 environ, avait été éliminé dans la proportion de neuf dixièmes durant la fusion des matières.

Une scorie de cette basicité ne laisse plus retourner de son phosphore dans le bain, même sous l'action d'un bouillonnement énergique. Mais elle a l'inconvénient d'être trop pâteuse et d'encombrer rapidement le four en se figeant en partie sur la sole quand le métal est coulé. Il est donc plus pratique de s'en tenir à une scorie plus fluide avec 20 ou 22 0/0 de silice, ainsi qu'on l'a dit plus haut. Mais il faut alors s'interdire d'introduire aucune matière additionnelle dans le four, quand le métal est prêt à couler, sous peine d'y réintégrer du phosphore (1). Le soufre peut,

(1) La scorie renfermant PhO^5 à l'état de tétraphosphate de chaux, et la silice SiO^2, saturée par deux équivalents de chaux, seule ne cède pas de son phosphore au fer. Le PhO^5 3CaO est un phosphorant du fer doux fondu à son contact, en se transformant à ces hautes températures en PhO^5 4CaO.

pendant la fusion, passer en notable proportion dans la scorie à l'état de sulfure de calcium ; mais pendant la période de décarburation, il en retourne les trois quarts dans le métal, si l'on n'a pas soin d'évacuer la scorie primitivement formée.

Produits obtenus sur sole basique et sur sole neutre.

Ces produits, identiques au point de vue de la pureté, ne le sont pas sous le rapport des qualités physiques.

Le métal obtenu sur sole basique est caractérisé par son extrême douceur, son grand allongement et sa faible résistance à l'essai de traction. Avec 0,12 de carbone et 0,400 de manganèse, il donne 30 0/0 d'allongement mesuré sur 20 *cm*, et 36 à 38 *kg* de résistance par millimètre carré (1). On peut laisser moins de carbone et descendre alors, comme à Seraing, à 31 *kg* de résistance.

Le métal obtenu sur sole neutre, à égalité de teneur en carbone, possède une résistance plus grande que le premier, tout en conservant le même allongement.

L'administration du Lloyd en a reçu de notables quantités sous forme de longerons et de cornières. L'Amirauté anglaise l'a admis après essais satisfaisants, sous forme de pièces de machine et d'arbres droits ou coudés.

Premier Exemple. — Sous forme de cornière de $5'' \times 3'' \times 7/16''$, un métal renfermant :

$$C = 0{,}14\ ;\ Ph = 0{,}044\ ;\ S = 0{,}074$$

a donné aux essais de traction :

	Par pouce carré	Par millimètre carré
Limite élastique. . . .	19,7 *t* et 20,8 *t*	ou 30,7 *kg* et 31,7 *kg*
Limite de rupture . . .	30,3 *t* et 29,9 *t*	ou 47,3 *kg* et 46,6 *kg*
Allongement	26,5 et 27,00	
Contraction.	47 0/0 et 43,30 de la section primitive.	

Deuxième Exemple. — Sous forme de cornière de

$$4\,1/2'' \times 4\,1/2'' \times 1/2''$$

un métal renfermant :

$$C = 0{,}14\ ;\ Ph = 0{,}025\ ;\ S = 0{,}05$$

a donné aux essais de traction :

(1) Le professeur Edward Riley avait, en 1887, introduit à Brymbo la pratique d'ajouter une proportion de ferro-chrome au bain d'acier basique, pour obtenir un métal plus résistant quand on en faisait la demande. Aujourd'hui on a recours, comme plus économique, au système de récarburation mis en pratique et préconisé par M. Darby.

Limite élastique . . .	19,2 *t* et 19,1 *t*.
Limite de rupture. . .	29,05 *t* et 29, 90 *t* = 45,3 *kg* à 46,6 *kg*.
Allongement	26,00 et 25,00.
Contraction.	43,20 et 42,00.

Troisième Exemple. — Sous forme de cornière de

$$4\,1/2'' \times 4\,1/2'' \times 7/16''$$

un métal renfermant :

$$C = 0{,}15;\ Ph = 0{,}04;\ S = 0{,}05$$

a donné aux essais de traction :

Limite élastique . . .	20 *t* et 20,50 *t*.
Limite de rupture . .	29 *t* et 30,00 *t* = 45 *kg* et 47 *kg*.
Allongement.	28,5 et 28,50.
Contraction	53,5 et 53 20.

Le manganèse, dans ces métaux, varie de 0,4 à 0,55.

Il faut laisser plus de carbone dans le métal pour que, laminé en longerons, il puisse atteindre la résistance demandée.

Avec 0,207 de carbone, 0,026 de phosphore et 0,07 de soufre, un métal laminé en longeron a donné, en long, comme résistance : 27,86 *t* ou 43,5 *kg*, et 27 0/0 d'allongement.

Sous forme d'arbre martelé à la presse, on peut citer un essai remarquable, communiqué par MM. Tannet-Walker, constructeurs à Leeds. Une barrette découpée dans une chute de la pièce a donné :

Limite élastique. . .	20,3 *t* ou 31,7 *kg* par millimètre carré.
Résistance	28,4 *t* ou 44,2 *kg* —
Allongement	32 0/0.
Contraction.	52 0/0.

Signé : H. Kendall.

D'autres essais faits à Londres, chez David Kirkaldy and Son, sur des échantillons de pièces de machine élaborées par MM. Tannet Walker, ont donné comme moyenne 30,7 *t* ou 47,8 *kg* avec 26 0/0 d'allongement.

Un fait qui se dégage de ces différents essais, c'est que, dans le métal fabriqué sur sole neutre, la limite élastique est supérieure à 60 0/0 et atteint même 70 0/0 de la limite de rupture. Et ce n'est pas là un fait isolé, mais bien vérifié et confirmé par

quelque centaine d'essais faits sur des barrettes brutes de forge, et provenant des *lingots-éprouvettes* de la coulée.

En résumé, une résistance plus élevée et une limite élastique au-dessus de la normale paraissent caractériser le métal doux obtenu sur sole neutre et le différencier de celui fondu sur sole, ou basique, ou acide.

Ces propriétés mécaniques ne sont pas la conséquence d'une action *catalytique* du milieu où il a été fondu, mais bien du corps qu'il emprunte à ce milieu, le chrome, qu'il s'incorpore dans la proportion de 0,10, à 0,15 et même 0,20 0/0, quand on fait servir à la réparation de la sole un mélange de calcaire, soit dolomitique, soit pur, où le fer chromé pulvérisé entre dans la proportion d'un tiers en volume.

C'est une dépense d'entretien de 0,50 à 0,60 *f* par tonne d'acier, mais on peut apprécier si elle est compensée par les résultats qu'elle procure.

CONCLUSIONS

Les chiffres qui ont été fournis sur l'importance de la fabrication des usines qui appliquent le « Pig and Ore Process » sur sole acide, montrent suffisamment qu'il n'est pas question ici d'appeler l'attention sur un procédé d'un intérêt rétrospectif. En effet, en 1890, la flotte sortie des chantiers du Royaume-Uni a atteint un tonnage de 1,276,129 *t.* Celui des navires en fer ne dépasse pas 36,000 *t;* le reste représente le tonnage des navires construits en métal doux obtenu sur sole acide par le procédé au minerai.

Si ce procédé a pris une si grande extension dans les aciéries d'Angleterre et d'Écosse, au lieu du « Scrap Process », c'est qu'il répondait à une situation économique qui n'a pas changé et qui ne paraît pas devoir se modifier. Est-il destiné à se répandre aussi sur le continent, comme répondant à des besoins nouveaux de ses aciéries, lesquels, nés d'hier, paraissent grandir chaque jour? C'est à peu près certain. Mais, pour ce qui regarde la France, c'est l'Ore Process, appliqué sur sole basique ou neutre, qui est plutôt destiné à les satisfaire puisque sa richesse minière sidérurgique consiste en minerais phosphoreux.

Diverses considérations, en dehors même de celles consignées dans le chapitre précédent, comme de l'emploi d'un minerai

quelconque que permet le revêtement neutre pour affiner le bain, dicteront le choix des matériaux de la sole.

Une fonte obtenue à une allure suffisamment chaude pour ne renfermer qu'un minimum de soufre, avec des minerais de l'Est, contient toujours une quantité de silicium qui en rend le traitement plus long et, par conséquent, plus onéreux que celui d'une fonte blanche. Les dépenses en houille, réactifs et main-d'œuvre augmentent avec le tantum de silicium dans la fonte. Mais, d'autre part, quand on n'est pas pourvu, comme à Ilsede (Hanovre), d'un minerai dont la teneur en manganèse permet d'obtenir une fonte blanche cristalline exempte de soufre, l'adjonction du manganèse au lit de fusion par un minerai étranger, pour produire une fonte de cette nature, n'est *absolument pas économique*.

Comme conséquence, on peut se demander si l'on n'arrivera pas à constater qu'il peut y avoir avantage à adopter une nouvelle formule de conversion au four Siemens-Martin, qui permettrait de réaliser le pur « Pig and Ore Process » sans adjonction de scrap doux.

Cette formule de travail consisterait à diviser l'opération en deux parties : 1° on ferait subir à la fonte grise, du n° 4 par exemple, et à sa sortie du haut fourneau, une sorte de *finage* qui réduirait peu ou point son phosphore, mais la débarrasserait de la majeure partie de son silicium et de son soufre (1) ; 2° on porterait ensuite ce produit, espèce de fine métal, à l'état liquide, au four Siemens-Martin pour le transformer en métal doux au moyen d'une addition d'un tantum de chaux et de minerai de fer, bien diminué, et avec ou sans scrap. Un essai répondant à cette formule de travail, et portant sur 21 fusions de 16 *t*, où une fonte préalablement purifiée de son silicium et de son soufre entrait — mais non à l'état liquide — dans la proportion de 80 à 85 0/0, a permis de constater une notable économie de temps, de réactifs et de frais de réparation. Au lieu de 1 300 *kg* au plus, c'est 1 600 *kg* qu'on a fondus à l'heure ; et l'on n'a eu besoin pour déphosphorer et affiner le bain que de 10 0/0 de calcaire et 3,70 0/0 de minerai (hématite et scorie de réchauffage, par moitié) du poids total de la fonte, au lieu de 30 0/0 et 20 0/0 respectivement de chaque réactif, quand on emploie la fonte grise, et à raison de 60 à 65 0/0 seulement du lit de fusion.

Quant à l'entretien de la sole, les chiffres résultant de l'expé-

(1) Appendice C.

rience fournissent les consommations suivantes par tonne de lingots :

1° 80 à 100 *kg* de dolomie frittée pour la sole dolomitique ;

2° 30 à 35 *kg* de magnésie frittée pour la sole magnésienne ;

3° 12 à 15 *kg* de fer chromé en grain, mélangé avec deux fois son volume de calcaire, pour la sole en fer chromé.

Avec l'emploi du *fine métal* au four neutre, les matériaux usés pour l'entretien ont été diminués des deux tiers et plus.

En manière de conclusion, l'auteur de cette note exprime l'espoir que les résultats de plusieurs années d'expérience, qu'il y a consignés et résumés le plus clairement qu'il a pu, soient de quelque utilité pour ses lecteurs.

APPENDICE

A. Les essais d'affinage avec des minerais en partie réduits, ou bien à l'état d'éponge de fer préparée dans un four rotatif, tendaient à incorporer au bain une plus forte proportion du fer du minerai ou même la totalité. Ces essais ne donnèrent pas de résultats pratiques et furent bientôt abandonnés. L'éponge de fer introduite rouge, non cinglée, dans le four à fondre, surnageait le bain et, au contact de la scorie et de la flamme, s'oxydait si rapidement que souvent moins de la moitié de son fer était incorporée au métal en fusion. C'est le minerai cru qui a donné les meilleurs résultats, même avec une proportion de silice assez importante, pourvu qu'elle accompagnât une richesse en fer de 60 0/0 minimum. Ainsi, le minerai de Marbella, venant des environs de Malaga, avec 60 0/0 de fer, avait 9 de silice, 2,50 d'alumine et 4 de chaux et magnésie. Le minerai de Cumberland, presque aussi dense, en rognons compacts, avec la même richesse en fer, renferme 10 0/0 de silice. En résumé, ce que l'on demande au minerai d'affinage pour le four Siemens-Martin, c'est de joindre à la plus grande pureté, au point de vue du phosphore et du soufre, un minimum de silice avec un maximum de fer, autant que possible à l'état de Fe^2O^3, et des traces seulement de manganèse.

Le minerai de l'île d'Elbe, des trois minières Calamita, renferme 64 à 67 0/0 de fer, avec des teneurs en silice et chaux presque égales et variant de 1,70 à 4,50, et des traces de manganèse.

Le minerai de Bilbao, Campanil de la mine César, compact quoique bien moins dense que le Mokta, le Cumberland, l'Elbe et surtout le Marbella, avec 54 à 55 de fer, 4 à 5 de silice et 3,5 de chaux, et des traces de manganèse, a donné les meilleurs résultats comme rapidité d'affinage et proportion de fer incorporée au bain. Malheureusement, la mine César est épuisée et le peu de Campanil des autres exploitations qu'on livre encore à l'exportation ne rappelle plus que de loin la qualité du premier minerai exporté.

B. L'évacuation de la scorie, après fusion complète de la charge, est une opération non facultative mais *nécessaire* au four Siemens-Martin neutre, quand on y traite des fontes grises renfermant 1,60 à 2 0/0 de Si, et qui apportent généralement dans le bain de métal plus de 1 0/0 de sable adhérent aux gueusets. On ne peut, en effet, conserver dans le four, sans perte de chaleur pour la maintenir en fusion, ni sans danger pour les parois du four, une aussi grande masse de scorie que celle qui accompagne une charge normale de 15 *t*, composée avec 9 à 10 *t* de fonte et 6 ou 5 *t* de scraps doux en menue ferraille et acier. Dans une pareille charge, la quantité de silice introduite par la fonte est de 480 *kg;* celle qui provient du minerai, dont le poids introduit est en moyenne égal à 20 0/0 de celui de la fonte, soit 1 800 *kg*, est de 140 *kg* au moins. De sorte qu'en faisant abstraction de la silice introduite accidentellement avec le menu

scrap ou avec le calcaire, et sans compter celle qui provient de l'usure des parois et de la voûte du four, on doit compter sur un poids de silice égal à 620 *kg* environ.

Or, la composition de la scorie déphosphorante qui se forme au four neutre, comporte au maximum 25 à 26 0/0 de SiO^2, et couramment 20 à 22 0/0; par conséquent, le poids qui accompagne la charge normale de 15 *t* peut varier de 2 1/2 *t* à 3 *t*, dans les *opérations régulières*, c'est-à-dire que cette quantité de scorie peut occuper dans le four un volume presque égal à celui du métal.

On se trouve donc dans la presque absolue nécessité de se débarrasser pendant l'opération d'une partie — la plus grande possible — de cette masse encombrante de scorie qui absorbe de la chaleur en pure perte (1) et exerce une action destructive sur les pieds droits (ou banks) du four. Mais à quel moment faut-il l'écouler? De prime abord il paraîtrait logique de la faire écouler au fur et à mesure qu'elle se forme, mais l'expérience a démontré que c'est la pire façon d'opérer. Bien que l'on introduise avec la charge de métal, fonte et scraps doux, une quantité de calcaire cru susceptible de neutraliser la silice qu'elle apporte et correspondant à un silico-phosphate à 22 ou 25 0/0 de SiO^2, la chaleur, pendant la période de fusion, est insuffisante pour déterminer la formation d'une scorie calcaire. Ainsi, au haut fourneau, quand la température baisse à l'ouvrage, la scorie se charge d'oxyde de fer parce que la chaleur est insuffisante pour permettre à la chaux de se substituer entièrement à cette base métallique dans le silicate qui se forme. De même, durant la fusion de la charge, on n'a ni un contact assez intime de la chaux, ni une température suffisante pour mettre à profit son énergique action basique sur le silico-phosphate qui se forme et où domine l'oxyde de fer. On a dosé jusqu'à 51 0/0 et plus d'oxyde de fer dans la scorie qui se forme pendant la fusion de la charge. Quoique le bain de métal soit formé et fluide, si le calcaire introduit avec la charge le surnage encore, la scorie a l'aspect de celle qui coule d'un four à puddler. Ce n'est guère qu'une demi-heure ou une heure après la fusion complète de la charge, quand aucune matière solide ne reste plus attachée à la sole, que l'aspect de la scorie change à mesure que la chaux s'y incorpore.

L'ouvrier doit constater qu'aucune matière solide ne reste adhérente à la sole en promenant dans le bain un ou deux rables, et il doit examiner ensuite la texture physique de la scorie qui reste collée à son outil.

Si cette scorie est noire et spongieuse, il ajoute au bain 100 à 200 *kg* de chaux vive, et après avoir brassé le bain de nouveau avec un troisième rable, il prépare la *coulée de la scorie* si l'échantillon qui adhère à son outil présente une *cassure compacte* de couleur *gris foncé*, une fois refroidi. La difficulté est d'obtenir une scorie à la fois suffisamment chargée en chaux et magnésie, pauvre en oxyde de fer et assez fluide pour couler du four sans l'intervention fréquente de l'ouvrier; aussi, cette période de l'opération peut être considérée comme la plus pénible, sinon la plus délicate, et il est bon d'y *intéresser particulièrement* les

(1) Tandis que la chaleur spécifique du métal est voisine de 0,170, celle de la scorie à ces hautes températures a été appréciée supérieure à 0,28 par le professeur Howe (de Boston) et par le professeur Akerman.

contremaitres et fondeurs en leur attribuant une prime sur la quantité produite de scorie phosphorique *vendable*. Les fondeurs sont, en effet, toujours tentés d'abréger le temps pendant lequel se fait la coulée de la scorie quand, à chaque instant, il est nécessaire d'intervenir avec un crochet pour la faire sortir du four. Pour aider à l'opération, un des moyens les plus pratiques consiste à jeter dans le bain du minerai cru carbonaté en gros blocs. Il se produit une très vive ébullition causée par l'eau et l'acide carbonique qui se dégagent du minerai pendant sa fusion dans la scorie et celle-ci dégorge alors abondamment par son orifice de coulée.

Le minerai cru carbonaté du Cleveland, à l'avantage qu'il offre de faciliter l'évacuation de la scorie sans fatigue pour l'ouvrier (mieux que le minerai Campanil de Bilbao), possède en outre celui d'enrichir la scorie de son acide phosphorique et d'être d'un prix relativement très bas par rapport au Campanil.

C. La purification des fontes, au point de vue du silicium et du soufre, pourrait se faire par un simple mazéage opéré dans un milieu acide ou neutre. Mais ce moyen, qui parait simple à première vue, peut entrainer, pour être appliqué à la fonte liquide, des complications d'outillage qui, ajoutées au déchet, le rendent trop onéreux.

Le procédé Bell-Krupp, qui emploie le four à sole tournante du système Pernot, fonctionne avec succès dans différentes usines des États-Unis. L'opération n'entraine qu'un déchet de 1 à 2 0/0 sur le fer de la fonte, et le prix de revient ne dépasse pas 5 à 6 *f* sur la tonne de lingots faite avec 80 0/0 de *fonte lavée* « Washed pig ».

Cependant, comme ce procédé n'a été appliqué jusqu'à présent qu'à des fontes manganésées, avec peu de silicium, et pour en diminuer le phosphore principalement, on n'a pas de données suffisantes pour apprécier son rendement économique appliqué à des fontes grises de la nature de celles fournies par les minerais de l'est de la France.

Il faut mentionner aussi le procédé Rollet, qui a fait ses preuves, mais parait trop onéreux pour être avantageusement pratiqué en dehors des fabrications spéciales auxquelles on l'a appliqué jusqu'à présent.

Le procédé nouveau qui fonctionne depuis quelques mois aux usines de Hœrde (Westphalie), est basé sur la liquation des siliciure et sulfure de manganèse. Ce sont des fontes Thomas, sulfureuses, mais avec peu de silicium, qu'on purifie à Hœrde au moyen d'une addition de fonte manganésée. On n'en connait encore que par ouï-dire les résultats économiques.

TABLE DES CHAPITRES

Définition 595
Historique 595
Composition de la charge 598
Description de la méthode de travail 599
Production d'un four travaillant au « Pig and Ore Process » 602
Économie du procédé 603
1° Le déchet 603
2° Proportion de houille consommée 605
3° Frais de transformation 606
Le four Siemens-Martin 608
1° Sa forme 608
2° Façon de construire la sole 610
3° Durée du four 611
2e Partie : La déphosphoration au four Siemens-Martin 613
Historique de son développement en Angleterre 613
Les matières premières et la méthode de travail sur sole basique 615
Le rendement économique 617
Le garnissage neutre 618
Les matières premières et la méthode de travail sur sole neutre 619
Le rendement 621
Frais de transformation 622
Théorie de l'opération 622
Produits obtenus sur sole basique et sur sole neutre 624
Conclusions 626
Appendice 629

TRANSMISSION DE FORCE PAR L'ÉLECTRICITÉ

PAR

M. O. BURON

Depuis une dizaine d'années que le problème de l'introduction de l'électricité dans la transmission et la transformation de l'énergie est entré dans la période des applications pratiques, on a reconnu que, pour bien des cas, on trouvait, dans son transport par l'électricité, un progrès sur les procédés précédemment usités. L'avantage existe non seulement lorsque la puissance est demandée à l'effort des animaux ou à l'utilisation de forces naturelles qui, sans l'intermédiaire de l'électricité, seraient difficilement accessibles, mais souvent encore lorsqu'on est facilement en possession de la source de puissance, comme dans le cas de l'emploi de la houille.

C'est de 1866 que date le principe électrodynamique découvert simultanément par Varley, Siemens et Wheatstone, et la première expérience nettement définie de transmission de force par l'électricité remonte seulement à l'Exposition de Vienne, en 1873. Notre éminent collègue, M. Hippolyte Fontaine, y avait installé une machine dynamo-électrique Gramme de 400 ampères, sous 25 volts, destinée à des opérations électro-chimiques, et une machine magnéto-électrique, qu'il se proposait de faire marcher avec des piles primaires, pour démontrer la réversibilité de la machine Gramme.

Cette machine devait commander une pompe centrifuge. La pile primaire ayant refusé de fonctionner, M. Fontaine eut l'idée de demander à la machine dynamo-électrique le courant dont il avait besoin pour sa machine motrice.

Le circuit établi entre les deux appareils laissant passer un courant trop fort, M. Fontaine allongea progressivement les fils, afin de créer une résistance suffisante, et arriva à leur donner une longueur de 2 *km* pour obtenir un fonctionnement régulier.

Cette expérience démontra qu'avec deux machines dynamos,

dont l'une servait de génératrice et l'autre de moteur, l'énergie mécanique pouvait être transmise à de grandes distances.

Cette découverte resta à peu près sans applications industrielles jusqu'en 1878, où M. Félix installa dans la sucrerie de Sermaize un monte-charge électrique pour le déchargement des betteraves; puis, en 1879, de concert avec M. Chrétien, il chercha à utiliser, pendant la période de chômage de l'usine, sa machine à vapeur à labourer les champs avoisinants. Une machine Gramme fut installée près de la machine à vapeur, et son courant fut envoyé à l'aide de câbles isolés jusqu'au champ à labourer, éloigné de 800 *m*. La charrue fut montée d'une manière analogue à celle employée pour le labourage à vapeur; mais, au lieu de deux machines à vapeur placées aux extrémités du champ, on disposa des treuils munis chacun de deux machines Gramme et d'une transmission appropriée.

D'autres applications furent faites à l'état d'études, mais c'est de l'Exposition de 1881 que date la marche rapide de l'électricité au point de vue industriel.

M. Marcel Deprez ne se contentait pas de formuler au Congrès des électriciens les conditions que devaient réaliser les générateurs et les moteurs capables de résister aux tensions considérables qu'exige le transport à distance de l'énergie, mais il portait ses recherches sur le terrain de la pratique.

A la suite des essais faits à l'Exposition de 1881, il émettait l'opinion qu'il était possible de transmettre 10 chevaux sur un fil télégraphique ordinaire à une distance de 50 *km*, en dépensant seulement une puissance de 16 chevaux à la station génératrice.

Le Comité de l'exposition d'électricité de 1882, à Munich, mit à sa disposition, entre Miesbach et Munich, une ligne télégraphique de 57 *km* de longueur, pour lui permettre de montrer un système fonctionnant réellement dans ces conditions. Les expériences qui furent faites en 1882 ne permirent pas de conclure; mais elles furent reprises en 1883 entre la gare du Nord et le Bourget, puis entre Vizille et Grenoble, et enfin en 1885 entre Paris et Creil.

Ces dernières expériences, dont la donnée primitive comportait le transport, à 50 *km* de distance, de 250 chevaux-vapeur industriellement utilisables, étant donné une force initiale de 500 chevaux, furent terminées en 1886, et, quoique n'ayant pas donné tout ce qu'on s'en était promis, elles montrèrent cependant la possibilité de transmettre à 50 *km* une puissance de 50 chevaux.

Le problème fut repris dans ces conditions par M. Fontaine, qui

réalisa les conditions du transport d'une puissance effective de 50 chevaux à 50 *km* dans les ateliers de la Compagnie électrique, avenue Philippe-Auguste ; le rendement obtenu fut de 52 0/0.

Tous ces essais avaient démontré que le transport de la puissance mécanique par les courants électriques était industriellement praticable, et les différentes applications qui en furent faites prouvèrent que la transmission électrique de l'énergie constituait, dans bien des cas, un progrès sur les méthodes dont on disposait déjà, et qu'elle permettait de profiter de sources naturelles de puissance que les moyens mécaniques n'auraient pas permis d'utiliser.

Il n'est pas toujours pratique, en effet, de profiter directement d'une force naturelle. La puissance hydraulique, par exemple, ne peut pas toujours être transportée sur le lieu du travail, à cause des dépenses de canalisation, et il n'est souvent pas possible d'amener le travail sur le lieu où se trouve la puissance hydraulique; c'est alors que le transport électrique de l'énergie prend une grande importance. Une turbine établie au voisinage de la chute peut actionner une machine dynamo-génératrice reliée, au moyen d'un circuit plus ou moins étendu, à une machine dynamo-réceptrice qui met en mouvement dans l'usine les outils producteurs.

Il existe aujourd'hui des exemples presque innombrables de cette transmission de la force, surtout dans les pays de montagnes comme le Dauphiné, la Suisse, le Tyrol.

Ce qui est particulièrement intéressant dans cette transformation et dans cette transmission de l'énergie, c'est la variété des emplois auxquels on peut l'affecter.

La plupart d'entre nous connaissent au voisinage du lac des Quatre-Cantons, entre Lucerne et le Righi, l'hôtel de Burgenstock. Il est relié au lac par un chemin de fer funiculaire de 936 *m* de longueur présentant une pente de 53 0/0.

Pour donner le mouvement aux deux véhicules qui font sur cette ligne le service entre le lac et l'hôtel, la maison Cuénod et Sautter, de Genève, a utilisé une chute de la rivière l'Aa, située à une distance de 4 *km* et qui fournit une puissance de 60 chevaux pour faire mouvoir une turbine actionnant une machine dynamo-génératrice qui transmet à Burgenstock les 30 chevaux nécessaires pour remorquer les deux voitures circulant sur le chemin de fer. Dans les intervalles entre la marche des trains, le courant électrique est utilisé à monter l'eau du lac pour les besoins de

l'hôtel, et le soir il est appliqué à produire la lumière électrique pour son éclairage.

Nous venons de parler d'un transport de la puissance à *4 km*, mais les distances franchies par les transmissions électriques sont souvent beaucoup plus considérables. La papeterie Chevraut, dont il a été question ici-même l'année dernière, prend une partie de sa force à une distance de *5 km*. L'usine Muller-Haiber, à Soleure, demande sa force motrice à la chute de Kriegstetten, située à 8 *km* de distance.

La ville de Bourganeuf (Creuse), éclairée à l'électricité, emprunte la puissance motrice de la dynamo génératrice à une chute distante de 13 600 *m* de la ville. Enfin, comme exemples beaucoup plus grandioses, encore à l'état d'étude il est vrai, mais en voie de réalisation, nous pouvons citer le projet d'utilisation d'une partie des eaux de la chute du Niagara pour actionner des turbines donnant, au moyen de machines que différentes maisons ont proposé de fournir, une puissance de 125 000 chevaux qu'on transformerait en courants électriques destinés à transporter 85 000 chevaux jusqu'à différents centres industriels, situés dans un rayon de 8 *km* autour de la chute, et 50 000 chevaux destinés à l'éclairage de la ville de Buffalo, distante de 35 *km*. Nous pouvons mentionner encore un autre projet utilisant la chute du Neckar, située à Lauffen, pour fournir une partie de la force motrice qui doit alimenter l'Exposition internationale d'électricité de Francfort. La chute de Lauffen est située à 180 *km* de Francfort ; elle fournirait à cette distance 300 chevaux sous une pression de 25 000 volts. Ce projet doit être réalisé cette année par la maison de construction d'Oerlikon qui vient de faire des expériences prouvant la possibilité d'isoler complètement une ligne transportant l'énergie sous des pressions de 20 000, 30 000 et même 33 000 volts. La distribution serait nécessairement faite par courants alternatifs qui permettent de réaliser une économie notable de cuivre dans l'établissement de la ligne et d'employer des transformateurs pour abaisser la pression à l'origine et à l'extrémité de la ligne et obtenir ainsi plus de sécurité.

L'installation de Lauffen montrera la possibilité de transporter par conducteurs l'énergie à une distance de 180 *km*, mais le transport électrique de l'énergie au delà des limites d'un conducteur fixe est depuis longtemps dans la pratique par l'emploi des batteries secondaires.

La traction des tramways de Bruxelles, de Hambourg est assurée par des accumulateurs.

Les accumulateurs offrent, en outre, un moyen très intéressant d'utiliser certaines forces naturelles, même celles qui paraissent le plus difficilement utilisables à cause de leur irrégularité, comme le vent et les marées.

Nous avons pu voir, pour utiliser le vent, une installation fort intéressante faite au cap de la Hève d'après les indications de M. le duc de Feltre, par notre collègue, M. L. Vigreux, et qui avait pour but, en actionnant par un moulin à vent du système Halladay, deux dynamos à vitesse variable produisant un courant de différence de potentiel constante, de charger des accumulateurs.

Nous avons dit en commençant que le transport de la force par l'électricité offre des avantages, non seulement lorsqu'on doit atteindre des sources d'énergie naturelle peu accessibles, mais qu'il trouve aussi son application dans le cas où l'on a complètement à sa disposition la source de l'énergie comme dans le cas de l'emploi du combustible.

La houille se transporte facilement et elle se prête à la division de la force ; mais l'économie provenant de la concentration des forces motrices a depuis longtemps fait préférer le développement de la puissance dans une station centrale et son fractionnement pour la répartir sur le nombre de points nécessaires.

Pour opérer ce fractionnement, doit-on faire usage de transmissions mécaniques, par courroies, par arbres, par câbles, ou même de transmissions pneumatiques, ou doit-on préférer les transmissions électriques ? Le choix à faire est généralement une question d'espèce.

M. Béringer, dans son *Étude critique du transport de l'énergie par l'électricité (Berlin 1883)*, a essayé une comparaison générale entre le transport électrique de l'énergie et les transmissions hydraulique, pneumatique et télodynamique.

Comme résultat final d'un grand nombre d'évaluations, il a établi entre ces quatre systèmes de transmission, au point de vue du rendement commercial, suivant la distance, le tableau comparatif que nous donnons ci-après :

Rendement commercial.

DISTANCE DE TRANSMISSION EN MÈTRES	SYSTÈME			
	ÉLECTRIQUE	HYDRAULIQUE	PNEUMATIQUE	PAR CABLE
100	0,69	0,50	0,55	0,96
500	0,68	0,50	0,55	0,93
1 000	0,66	0,50	0,55	0,90
5 000	0,60	0,40	0,50	0,60
10 000	0,51	0,35	0,50	0,36
20 000	0,32	0,20	0,40	0,13

Les conclusions de ce tableau tendraient à montrer que la supériorité de la transmission électrique sur la transmission par câble, ne ressort qu'au delà de la distance de 5 000 *m*. Mais les perfectionnements apportés depuis 1883 à la construction des machines électriques ont amélioré leur rendement. L'isolement obtenu, pour les fils de la ligne, est beaucoup plus parfait, de sorte que la distance de 5 000 *m* peut être aujourd'hui très notablement raccourcie.

Le rendement commercial des machines dynamo-électriques descend rarement au-dessous de 80 0/0 et atteint même souvent 90 0/0, de sorte que, même en réservant une grande marge pour les pertes par les conducteurs, on peut arriver à récupérer sur les moteurs plus de 60 0/0 du travail initial consommé à la station génératrice, ce qui, dans bien des cas, peut représenter une fraction plus importante du travail initial que celles qu'on obtient par des transmissions mécaniques compliquées.

C'est ce qui a conduit la Compagnie du Nord, dans l'établissement de l'éclairage électrique des gares de Calais, à construire une station centrale et à distribuer électriquement l'énergie nécessaire à la mise en mouvement des machines d'éclairage installées dans chacune des gares.

De plus, des considérations particulières peuvent, dans certaines applications, conduire à donner la préférence aux transmissions électriques sur les transmissions par courroies ou par câbles.

Le conducteur électrique se fixe plus aisément que tout mode de liaison mécanique; il n'exige aucun soin et ne présente aucun danger s'il est convenablement établi. Les câbles télodynamiques

s'usent sur leurs supports, s'altèrent à l'air et exigent un entretien onéreux; aussi voyons-nous les usines de Schaffhouse remplacer par des circuits électriques, les câbles télodynamiques dont elles se servaient autrefois pour transporter la puissance fournie par la chute du Rhin à Neuhausen.

Les transmissions électriques sont appelées à rendre de grands services dans l'exploitation des mines, une même canalisation permettant d'assurer tous les services nécessitant une force motrice, abatage, extraction, transport, éclairage : l'emploi de l'électricité a, de plus, pour les mines, l'avantage de ne pas échauffer, de ne pas vicier l'air et, lorsque toutes les précautions nécessaires sont prises, de ne pas créer de cause d'incendie.

Dans les ateliers et partout où le fractionnement de l'énergie doit être multiplié, la distribution électrique présente de grands avantages. On lui fait suivre un conducteur qui reste propre, froid, immobile et paraît absolument inerte. On peut à volonté le ployer, le mouvoir, le déplacer pendant qu'il transporte un grand nombre de chevaux. Ce maniement facile permet d'amener l'énergie en des endroits où une transmission mécanique ne saurait trouver place ; son passage ne donne lieu à aucun bruit, à aucune odeur, ne développe aucune chaleur, si les proportions du conducteur sont bien calculées, et ne présente aucun danger d'explosion ni de fuite. D'ailleurs on peut régler à volonté la puissance électriquement transmise et son application offre une extrême élasticité. Le travail absorbé par la machine génératrice reste constamment en rapport avec le travail fourni par le moteur, et la distribution électrique de l'énergie est extrêmement économique. Aussi la Compagnie du Nord a-t-elle adopté les transmissions électriques pour donner le mouvement aux cabestans servant à manœuvrer des wagons, et à certains appareils servant à la manutention des marchandises dans la gare de La Chapelle.

La transmission électrique est aussi employée dans certains ateliers mécaniques où elle remplace les transmissions par courroies ou par câbles.

C'est la nécessité de ne pas vicier l'air, de ne pas créer de causes d'incendie, c'est cette simplicité et cette souplesse de la distribution électrique s'ajoutant aux considérations de l'économie qui résulte de la concentration de la production de la force qui, dès l'année 1883, ont conduit la Compagnie d'Orléans à faire dans ses ateliers l'application du transport de l'énergie par l'électricité et à modifier récemment ces installations pour les compléter.

La Compagnie d'Orléans possède à Vitry une usine dans laquelle elle prépare divers produits d'importante consommation dans le service des trains, tels que :

Les huiles de graissage pour les essieux ;

Les graisses à wagon ;

Le liquide antitartrique pour les chaudières à vapeur ;

Les enduits pour les bâches ;

Certaines peintures, etc.

Elle a, en outre, installé dans les terrains de l'usine, des caves importantes, un chai pour le dépôt et la conservation des vins, un cellier pour leur mise en bouteille. Ces établissements ont été pourvus en 1883 d'une pompe à vin P et d'une machine à rincer les bouteilles G. Depuis, on y a ajouté une seconde machine à rincer les bouteilles *g* et un monte-charge M. Il s'agissait de donner le mouvement à ces appareils éloignés du moteur de l'usine d'environ 200 *m.* *(Pl. 38.)*

Les outils et appareils de l'usine de Vitry sont mis en mouvement par un moteur à vapeur et par une transmission mécanique. On a dû installer un moteur de 20 chevaux pour assurer le fonctionnement de quelques-uns de ces appareils qui exigent une dépense de force assez considérable. Mais leur mise en œuvre étant intermittente et les différents ateliers ne marchant pas toujours simultanément, on se trouvait, avec une organisation convenable du travail, pouvoir disposer d'un excédent de force suffisant pour donner le mouvement aux appareils du chai et du cellier.

A cause des bâtiments interposés entre le moteur et le chai, l'emploi d'un câble télodynamique pour les 200 *m* à franchir demandait une installation compliquée et pouvait présenter des inconvénients. Une distribution électrique de l'énergie était la solution la plus avantageuse et la plus économique. On décida donc l'installation d'une machine dynamo compound à courant continu d'une tension modérée, cette solution ayant l'avantage de ne présenter aucun danger et de permettre l'usage simultané de la force et de la lumière. C'est aussi le système qui permet d'arriver au plus haut rendement.

La machine adoptée est du système Rechniewski dont la constitution, en permettant l'emploi d'induits dentés qui réduisent l'entrefer à son minimum, augmente notablement le rendement par suite de l'absence de courants parasites et de la faible résistance intérieure. Sa puissance est de 14 000 volts disponibles aux

bornes de la machine, donnant à la vitesse de 1 200 tours un courant de 170 volts et de 82,5 ampères.

Cette puissance électrique est utilisée, soit à fournir la force motrice dont on a besoin dans le chai et le cellier, soit à assurer l'éclairage complet de l'usine.

La force motrice est donnée par deux réceptrices (dynamogramme). Ces deux réceptrices sont munies de rhéostats permettant de régler leur vitesse suivant les variations du travail, et de coupe-circuits fusibles, facilement remplaçables afin d'éviter tout accident dans le cas où l'on viendrait à demander à ces machines un effort supérieur à celui qu'elles sont destinées à produire.

Tous les appareils sont construits et disposés de telle façon que la marche des dynamo-réceptrices n'ait aucune influence sur la régularité de l'éclairage ; les conducteurs sont d'un diamètre suffisant pour que l'échauffement résultant du passage du courant ne dépasse pas 60° centigrades, et dans tout leur parcours à travers les bâtiments, ils sont recouverts d'une matière isolante.

L'éclairage est obtenu par 7 régulateurs à arc, système Bardon, d'une intensité de 8 ampères, placés dans les cours de l'usine à 8 ou 10 *m* au-dessus du sol, 3 régulateurs à arc système Bardon, d'une intensité de 4 ampères, placés à l'intérieur des bâtiments, éclairent le cellier et l'atelier d'enduisage des bâches. Ces 10 régulateurs sont montés par groupes de 3 en série ; l'un d'eux est monté seul avec une résistance convenable. En outre, 10 lampes à incandescence de 200 bougies éclairent les magasins et l'atelier de manutention des huiles ; 56 lampes à incandescence de 16 bougies éclairent les autres ateliers et magasins, les caves et le chai.

Les machines dynamo-réceptrices cessent de fonctionner pendant les heures d'éclairage.

Outre ce transport de force par l'électricité que nous venons de décrire, la Compagnie d'Orléans en a installé un autre dans ses ateliers de Paris, indépendamment des machines électriques qui éclairent la chaudronnerie et les cours. Dans une partie de ces ateliers, il existe une blanchisserie où se fait la lessive des garnitures de voitures, du linge des voitures de luxe, du linge des bureaux, etc.

Dans cette blanchisserie, le battage du gros linge est remplacé par un lessivage au tambour. On ne pouvait songer, pour mettre cet appareil en mouvement à l'installation d'un moteur spécial qui aurait été beaucoup trop coûteux comme installation et, par suite, des dépenses du chauffeur à poste fixe. Quoique la distance

du moteur le plus proche ne fût que de 100 *m* environ une transmission de force par câble eût été beaucoup trop dispendieuse, par suite de la différence de niveau créée par la nécessité d'éviter des bâtiments qu'on ne pouvait traverser. Ici encore la transmission électrique de la force était indiquée comme le moyen le plus simple et le plus économique. Elle a été empruntée à l'un des moteurs des ateliers d'Ivry, celui des scieries.

La station électrique se compose : d'une machine génératrice Edison, type C, de 20 ampères et de 110 volts, d'enroulement compound, avec ses accessoires, voltmètres, ampèremètres, coupe-circuit, bouchons de sûreté munis de plombs, interrupteur, etc.

La station réceptrice se compose d'un moteur, type P, avec bobinage spécial commandant, au moyen d'un engrenage à vis sans fin, un tambour tournant à la vitesse de 75 tours par minute ; la vitesse de ce moteur est constante, quelles que soient les variations de la force employée par les ateliers.

La ligne réunissant les deux dynamos est formée de fils de cuivre de haute conductibilité de 10 mm^2 de section, recouverts à l'intérieur des bâtiments de matière isolante et enfermés dans une moulure en bois avec couvercle.

En décrivant ces deux dernières installations de transmission de force, nous n'avons eu pour but que de montrer combien il est avantageux en pratique d'employer cette solution de transmission de force, et nous sommes convaincus que de plus en plus ce sera une solution adoptée.

TRANSMISSIONS ÉLECTRIQUES

PAR

M. A. HILLAIRET

Nous nous proposons de décrire un certain nombre de transmissions électriques, que nous avons réalisées dans ces dernières années, et de citer quelques autres applications intéressantes de ce nouveau moyen, qui peut compter parmi les ressources les plus utiles de la mécanique.

Avant d'aborder cette description, il serait nécessaire de rappeler les procédés qui permettent l'accouplement des machines génératrices et réceptrices, les éléments des méthodes d'essai les plus simples et les limites pratiques des résultats qu'on peut obtenir.

Nos regrettés collègues, MM. Cabanellas et Tresca, nous ont, à différentes reprises, entretenus des procédés de réglage et de distribution en usage dans les transmissions électriques, ainsi que des méthodes dynamométriques qui permettent d'en analyser le fonctionnement.

Il n'y a donc pas lieu d'insister sur ces notions.

Cependant, on devra se souvenir qu'il n'est pas toujours facile de commander une dynamo réceptrice par une dynamo génératrice; que ces deux machines doivent être étudiées spécialement, suivant l'usage auquel on les destine, et qu'il est encore moins aisé d'alimenter plusieurs réceptrices avec une seule génératrice.

Les principaux modes de distribution sont :

1° La distribution en dérivation ou en arcs parallèles où tous les récepteurs sont alimentés sous un nombre de volts sensiblement constant.

Les procédés qui permettent de maintenir automatiquement cette constance aux bornes de la génératrice ou entre deux points donnés du circuit, par le simple jeu des actions électro-magnétiques du courant, ont été indiqués par M. Marcel Deprez en 1880;

le principe de la machine auto-excitatrice à enroulement mixte, universellement connue sous le nom de dynamo *Compound*, a été exposé par M. Desroziers en 1882.

A l'aide de chacun de ces deux procédés, si on prend soin de maintenir constante la vitesse du moteur qui commande la génératrice, on peut arriver à maintenir sensiblement constant le nombre de volts au centre de la distribution.

2° La distribution en série. Les procédés qui permettent de réaliser ce mode de distribution ne sont pas encore complètement satisfaisants, dans le cas le plus général, du moins, car il y a des cas particuliers suffisamment résolus (1).

Dans cette distribution, tous les récepteurs sont *embrochés* à la suite les uns des autres sur un même conducteur (2).

Le réglage consiste, dans ce procédé, à maintenir constante l'in-

(1) Parmi ceux-ci, nous citerons la régularisation obtenue par les variations automatiques de vitesse d'une machine à vapeur dépourvue de régulateur centrifuge et ayant une admission constante au cylindre.

Dans une machine dynamo, génératrice ou réceptrice, dont le champ magnétique est maintenu constant, le moment résistant du moteur développé par l'induit est presque rigoureusement proportionnel à l'intensité du courant qui parcourt cet organe : à un champ magnétique donné et à une intensité de courant donnée dans l'induit correspond un moment résistant ou moteur déterminé. D'autre part, si on maintient dans une machine à vapeur la période d'admission constante ainsi que la pression dans la boîte à vapeur, le moment moteur moyen de cette machine sera rigoureusement constant. Si donc on commande par un pareil moteur une dynamo à champ constant, la vitesse se réglera d'elle-même et atteindra son régime quand l'intensité du courant développé dans l'induit correspondra rigoureusement au moment moteur moyen déterminé par la pression dans la boîte de vapeur et par la période d'admission.

Il en serait de même si la dynamo avait ses inducteurs enroulés en série et excités par le courant total, puisque, dans ce cas, la valeur du champ magnétique inducteur est une fonction exclusive de ce courant.

Si l'inertie des organes en rotation de la dynamo et de la machine à vapeur était négligeable, le réglage suivrait instantanément les variations de régime du circuit.

Il y a, de ce chef, une cause d'altération ou de retard à la régularisation qui peut s'opposer à l'emploi de ce système.

Cependant, nous devons signaler une application intéressante de ce procédé qui a été faite par MM. Monnier et Clémançon pour l'éclairage des rues de la ville de Perpignan par une série de lampes à incandescence disposées en série sur quatre circuits alimentés chacun par une dynamo et une machine à vapeur à admission constante.

M. Cabanellas a exposé, dans sa communication du 7 mai 1886, l'incident qui lui fit remarquer, au fort de Querqueville, comment une locomobile dépourvue de son régulateur et ayant une admission fixe, mettait sa vitesse en harmonie constante avec la résistance variable d'un projecteur où l'intensité du courant se maintenait invariable et indépendante de la longueur de l'arc.

(2) Si on mettait en série, sans aucune précaution, à la suite les unes des autres, des réceptrices différentes ayant à effectuer des travaux variés, ces machines seraient nécessairement en équilibre dynamique instable (voir la note précédente) et aucune d'elles ne prendrait une vitesse de régime, ainsi qu'il est facile de s'en assurer : toutes les vitesses subiraient des oscillations continues variant de 0 à un maximum.

Il est cependant un cas où, sans aucune précaution, et avec des réceptrices simplement enroulées en série, l'équilibre des vitesses est constamment déterminé, c'est celui où on embroche à la suite les unes des autres des réceptrices actionnant des pompes centrifuges et des ventilateurs, ou, si l'on veut, des outils dans lesquels le moment résistant est une fonction de la vitesse et croit avec elle.

Dans beaucoup d'applications, cette propriété peut être mise à profit, ainsi que nous l'avons fait nous-même, sans aucune difficulté.

tensité du courant qui parcourt le circuit, tandis que le nombre de volts doit varier suivant la charge.

M. Marcel Deprez a également indiqué en 1880 comment on pouvait dans ce cas résoudre le réglage automatique de la génératrice à vitesse constante, mais des difficultés pratiques ont quelque peu entravé le développement de ce procédé.

Bien étudié et bien résolu, ce mode de distribution serait susceptible de rendre dans l'avenir les plus grands services : l'avantage d'un circuit de distribution en série sur un réseau de distribution en dérivation peut être considérable au double point de vue de la dépense de premier établissement du conducteur et de la facilité d'accouplement des réceptrices.

Pour l'essai des transmissions électriques, l'emploi du dynamomètre et du frein est tout indiqué.

Le dynamomètre donne la mesure du travail réellement transmis à la génératrice, et le frein recueille le travail réellement développé par la réceptrice. Le rapport du dernier de ces travaux au premier exprime le rendement mécanique net de la transmission.

Comme les dynamomètres sont des instruments coûteux et peu répandus, on peut, dans la plupart des cas, faire des essais suffisants avec un seul frein — par substitution — en faisant au préalable un tarage dynamométrique du moteur.

La méthode d'essai de MM. J. et E. Hopkinson mérite d'être signalée, car elle permet, avec des moyens restreints, de faire l'essai de machines dynamos six ou huit fois plus puissantes que les moteurs dont on dispose pour les commander.

Cette méthode consiste, en essence, à manchonner deux machines, génératrice et réceptrice, et à envoyer le courant de la première dans la seconde.

En raison de la liaison mécanique des deux machines, la réceptrice apporte l'appoint de sa puissance au moteur qui met en mouvement la génératrice; le moteur n'a donc plus qu'à fournir le travail correspondant aux résistances passives mécaniques et électriques des deux dynamos.

En intercalant un dynamomètre entre le moteur et l'ensemble des deux dynamos, on peut se rendre compte du travail absorbé

par le système et déterminer approximativement le rendement des deux machines.

A défaut de dynamomètre, on peut opérer soit avec une dynamo précédemment tarée comme moteur, soit avec tout autre moteur taré au frein, comme je l'ai indiqué plus haut.

Il n'y a ni limite à la puissance que l'on peut transmettre électriquement, ni à la distance sur laquelle on peut effectuer une transmission.

De même que les transmissions télégraphiques peuvent s'étendre sur des longueurs pratiquement illimitées, de même la transmission d'une puissance mécanique pourrait s'effectuer électriquement aussi loin qu'on le voudrait si le besoin s'en faisait sentir.

On peut communiquer télégraphiquement de Paris à Madrid, de Paris à Rome sans relai, et de Paris à Pétersbourg avec relai à Berlin ; on pourrait de même distribuer de Paris la puissance mécanique nécessaire à ces différentes villes, s'il n'y avait d'autre moyen de leur procurer.

Le prix seul de premier établissement indique la limite de la dépense à ne pas dépasser.

L'emploi de tensions successivement croissantes aux bornes des génératrices (1) a apporté des réductions successives dans le prix des conducteurs métalliques, et si nous savions d'une manière assurée quelle sera la valeur de la tension maxima utilisable dans l'avenir, il n'y aurait pas de projet dont on ne puisse dès maintenant établir le devis.

Si on peut réduire autant qu'on le veut la perte d'énergie dans les conducteurs, on ne peut néanmoins accroître indéfiniment le rendement final de la transmission.

On ne dépasse pas pour les dynamos des rendements individuels supérieurs à 90 0/0, valeur que nous considérons comme une

(1) La puissance ou énergie électrique est exprimée par le produit de deux facteurs dont l'un représente le nombre d'ampères qui parcourt le circuit et l'autre le nombre de volts sous lequel circule ce courant. Il y a donc une infinité de valeurs de ces deux facteurs qui peuvent réaliser une puissance donnée.

Comme l'intensité du courant et la résistance du conducteur sont les deux seuls éléments de la perte d'énergie dans un circuit, on peut concevoir *a priori* qu'il sera plus avantageux dans une transmission électrique de réaliser les puissances à transmettre en faisant usage de faibles courants et de tensions élevées.

limite pratique pour les machines les mieux étudiées d'une puissance d'au moins 60 ou 80 chevaux (1).

En supposant que la génératrice et la réceptrice aient chacune comme rendement individuel la valeur indiquée plus haut et que la distance qui sépare ces machines soit nulle, le rendement de la transmission aurait pour valeur $0{,}90^2 = 0{,}81$, valeur qu'il faut considérer comme ordonnée à l'origine d'une asymptote qui limite la courbe des rendements, quelque sacrifice qu'on fasse.

Les transmissions électriques peuvent se diviser en deux catégories :

1° Les transmissions dans lesquelles les distances à franchir sont faibles ou négligeables, quand, par exemple, la génératrice ou les réceptrices sont situées dans la même enceinte;

2° Les transmissions où la distance à franchir a une valeur importante.

Dans les premières, l'énergie électrique est mise à profit comme un agent d'un usage facile, économique, et se prêtant avec docilité aux manœuvres asservies.

Le nombre des applications qui rentrent dans ce dernier cas est déjà considérable, et l'avenir leur réserve un développement assuré.

Les transmissions par arbres, engrenages, courroies, câbles, vapeur, air comprimé, eau sous pression, qui étaient les seuls procédés de distribution en usage dans ces dernières années, sont peu à peu supplantées et remplacées avec succès; souvent, le rendement final des transmissions électriques est supérieur aux

(1) D'une manière générale, la puissance d'une machine dynamo est indépendante de la valeur absolue des deux facteurs électriques dont elle est le produit, ou, autrement dit, la puissance d'une dynamo de carcasse donnée est indépendante de son enroulement. Ceci posé, on voit que, dans une transmission, la perte d'énergie due aux résistances passives électriques et mécaniques de la génératrice et des réceptrices reste constante.

La résistance d'un conducteur d'une longueur donnée étant inversement proportionnelle à la section et par conséquent au prix de celui-ci, la perte d'énergie dans la ligne sera inversement proportionnelle au prix du conducteur pour un nombre de volts donné aux bornes de la génératrice. Si, dans un projet, on fait varier successivement ce nombre de volts, le prix du conducteur variera en raison inverse du carré de ce nombre de volts. De cette façon, on conçoit qu'à une distance quelconque on puisse transmettre une puissance quelconque avec une perte d'énergie dans la ligne aussi faible qu'on voudra. Ce corollaire a servi de base à ce paradoxe que, dans une transmission électrique le *rendement est indépendant de la distance*, paradoxe qui n'a pas plus de valeur pratique que ceux qui consisteraient à conclure que dans une transmission télédynamique les pertes deviennent de plus en plus faibles à mesure que la vitesse du câble s'accroît et que, dans une transmission par eau forcée, les travaux passifs dus aux pertes de charge tendent vers 0 quand la pression de la distribution tend vers l'infini.

rendements des transmissions effectuées par les procédés cités plus haut. L'établissement d'un réseau de conducteurs légers est plus facile et moins coûteux que celui de toute autre liaison purement mécanique.

Parmi ces applications, nous devons classer les tramways et les voitures à accumulateurs ou à piles primaires, dans lesquels la dynamo n'est qu'un intermédiaire transformant l'énergie chimique qu'elle est capable de puiser aux électrodes d'une pile pour la restituer, sous forme mécanique, aux essieux d'un véhicule (1).

Quant aux transmissions de la seconde catégorie, le nombre en est plus restreint.

Plus tard, si le prix du combustible varie beaucoup et quand l'industrie aura pénétré, comme elle commence à le faire, dans des régions où les transports matériels sont difficiles et coûteux, il n'y aura d'autres limites aux distances franchies que la valeur à consacrer au premier établissement du conducteur et le maximum pratique des tensions à admettre (2).

(1) Les États-Unis d'Amérique sont le pays le plus favorisé sous le rapport des tramways électriques ; la statistique des tramways électriques en exploitation au 1er novembre 1890 comportait un total de 277 sociétés, possédant 3 391 véhicules, exploitant une longueur de 3 389 *km*. Tous ces tramways sont presque exclusivement aménagés avec ligne de prise de courant aérienne et retour de courant par les rails. Il n'existe aux Etats-Unis que quelques voitures de tramways à accumulateurs ; les sociétés d'exploitation, ayant la plus grande liberté pour l'établissement de réseaux aériens, n'ont pas eu encore recours à ce dernier mode de traction.

(2) Ce maximum ne peut être actuellement déterminé et nous nous garderons bien de donner une valeur qui puisse être prise comme base.

Nous sommes convaincu qu'il sera possible d'atteindre des forces électromotrices élevées dans la pratique courante des transmissions, surtout avec l'emploi des courants continus, bien qu'il y ait une certaine tendance à développer l'emploi des courants alternatifs dans le cas des hautes tensions.

Pour notre part, nous pouvons donner ce renseignement, que nous n'avons jamais rencontré de difficultés insurmontables dans l'exécution des machines à courants continus, à tension élevée. Nous n'avons pas livré à l'usage de machines donnant plus de 3 000 volts en régime maximum. Cette tension sera certainement dépassée dans la pratique à venir, bien que nous désirions ne donner à cet égard aucune indication actuelle.

Il faut avant tout que la marche des transmissions présente un caractère de sécurité complète, aussi bien pour les services qu'elles alimentent que pour le personnel qui les conduit.

On peut, ainsi que nous avons pu le constater, toucher sans aucun danger et sans prendre aucune précaution, les organes *nus* (balais, collecteurs, etc.) des machines à courants continus donnant jusqu'à 3 000 volts à leurs bornes. Il n'en est pas de même des machines à courants alternatifs qui présentent un danger constant pour le personnel, à partir des plus bas voltages.

Dans le cours de cette communication, nous supposons implicitement qu'il s'agit de l'emploi de machines à courants continus.

L'accroissement rapide des distances explosives entre deux conducteurs portés à des tensions différentes (expériences de Gaugain) fait craindre qu'il faille prendre des précautions toutes spéciales pour atténuer les risques qui compromettent les isolants, si on dépasse de beaucoup les tensions actuellement usitées.

C'est ainsi que, récemment, il a été fait une série d'essais avec des transformateurs à très haute tension immergés dans des bains de pétrole.

Il ne serait peut-être pas moins pratique de créer dans les salles des dynamos une pression supérieure à la pression atmosphérique : les recherches électrostatiques de Snow-Harris montrent comment les distances explosives varient en fonction de la pression du milieu en décroissant depuis le vide (œuf électrique) à mesure que s'élève la pression.

On pouvait craindre, avant que l'expérience ne nous eût instruits, que les orages ne vinssent inquiéter gravement les lignes de transmissions d'une certaine longueur.

Il est nécessaire de prendre contre la foudre toutes les précautions qu'enseigne la pratique des télégraphistes, sans y manquer; d'autant plus que beaucoup de transmissions peuvent avoir leur tête de ligne dans des régions montagneuses où les orages se forment et éclatent avec une fréquence et une soudaineté qui peuvent prendre au dépourvu les surveillants les plus attentifs (1).

Nous sommes encore éloignés de l'époque où on se verra contraint d'escompter l'utilisation industrielle de la puissance du vent ou des dénivellations des marées. Mais, à brève échéance, nous assisterons au développement des canalisations de hautes chutes actuellement inutilisées.

On peut, d'ailleurs, en donner des exemples récents.

En ce qui nous concerne, nous pourrons citer nos travaux de Revel-Domène, dont le développement s'effectue en vue de la distribution de 2 000 chevaux aux industries diverses de la ville de Grenoble, située à 14 *km* de la chute utilisée (2).

(1) La fréquence des orages en pays de montagnes ne peut être mieux montrée qu'avec l'extrait suivant du journal de notre transmission de Domène. Nous avons relevé, parmi les journées les plus orageuses de l'année 1890, les suivantes :

27 juin. — Orage, 1 heure 1/4.
1 heure 1/2, période aiguë, décharge.
Autre orage, 11 heures 1/4.
11 heures 1/2, période aiguë, décharge.
28 juin. — Orage, 11 heures 1/4 matin.
13 août. — Orage, minuit 05.
— 10 heures 1/2 matin.
— 11 heures soir, jusqu'au lendemain 14, 5 heures matin.
25 août. — Orage, 2 heures matin.
— 6 heures soir.

Les observations que nous avons pu recueillir pendant les orages qui se sont abattus sur la ligne Revel-Domène, entre le 23 mai et le 22 septembre, nous ont permis de classer nettement en trois catégories les coups de foudre qui peuvent atteindre une ligne de transmission :

1° La foudre tombe au milieu de la ligne, à plus d'un kilomètre des extrémités; ces coups de foudre ne se propagent pas, ne sont dangereux ni pour les conducteurs, ni pour les machines, et ne menacent que les poteaux, qu'il est d'ailleurs facile de garantir avec des pointes et des prises de terre.

2° La foudre frappe les extrémités de la ligne. Ses coups peuvent être évités par l'emploi de paratonnerres ordinaires, semblables à ceux des édifices, et placés sur quelques-uns des derniers poteaux.

3° La foudre tombe dans le voisinage de la ligne et provoque dans le circuit des réactions de grandeur comparable à celle du courant de la transmission. Ces réactions ont une puissance calorifique notable et peuvent compromettre les isolants des machines. Les paratonnerres placés dans la salle des machines doivent être suffisamment bien établis pour protéger celles-ci en toute sécurité.

(2) Établissements Chevrant, à Domène (Isère).

Nos travaux actuels de Saint-Michel (Savoie), où nous aménageons une chute de 134 *m* de hauteur, débitant au minimum 3 1/2 m^3 à la seconde, correspondant à une puissance hydraulique de 6 000 chevaux environ, et qui précèdent l'aménagement d'une chute projetée, de 600 *m* de hauteur, débitant le même volume minimum et mettant, par conséquent, à notre disposition, une puissance hydraulique d'environ 28 000 chevaux (1).

Enfin, rappelons qu'une Société américaine, la « Cataract Construction Company », vient de commencer les travaux d'aménagement d'une chute prélevée sur la dénivellation du Niagara. La hauteur de cette chute ne dépassera pas 42,67 *m*, mais le volume d'eau peut être considéré comme illimité et sera prochainement utilisé jusqu'à concurrence de 150 000 chevaux (2).

EXEMPLES DE TRANSMISSIONS ÉLECTRIQUES

Projections.

1° Dynamo de 60 chevaux à 600 tours.

2° Moteur de M. Deprez attelé à la transmission de la coupole du grand Équatorial de l'Observatoire de Nice.

3° Commutateur d'arrêt et de mise en marche du moteur précédent.

Le changement de marche est effectué par le simple mouvement de la manette du commutateur; les balais du moteur sont fixés dans une position invariable. Quand l'observateur manœuvre la manette dans un sens, la coupole se meut dans la même direction.

4° Perceuse à flexible sans engrenages.

(1) Société Chevrant et Bernard frères, avec la collaboration de MM. Perrin et Gros, entrepreneurs, à Saint-Michel (Savoie).

(2) 100 000 chevaux seront destinés à alimenter un quartier industriel à bâtir dans un rayon de 6 *km* autour de la chute, et 50 000 chevaux seront affectés à la ville de Buffalo, située à une distance d'environ 32 *km*.

Le débit approximatif du Niagara n'est pas inférieur à 495 000 m^3 par seconde. Ce volume, en tombant de la cataracte, c'est-à-dire d'une hauteur de 25,70 *m* environ, sur les premiers hauts-fonds des rapides, acquiert une quantité de chaleur qui élève sa température de 1/5 de degré centigrade et pourrait développer une puissance de 17 000 000 de chevaux. Cette puissance est celle qu'on pourrait tirer du régime de toutes les eaux qui s'écoulent sur la surface de la France, en supposant qu'elles soient utilisées dans tout leur parcours et arrivent à la mer sans vitesse.

Ce moteur multipolaire a une vitesse d'environ 350 tours par minute et attaque directement un flexible adapté à un porte-outil. L'ensemble du moteur est suspendu à la Cardan, afin de permettre à l'arbre de suivre toutes les inclinaisons que tend à lui donner le flexible. On évite ainsi toute fatigue à la base de cet organe, où se produisent généralement les ruptures.

5° Perceuse à action directe.

Cette machine, qui consiste essentiellement en une dynamo de 30 kilogrammètres attaquant par vis sans fin une roue hélicoïdale calée sur un arbre porte-foret, a été construite pour percer et aléser les trous d'un diamètre maximum de 25 *mm* dans la tôle d'acier. Le poids total de la perceuse avec son support est d'environ 35 *kg*; elle peut être portée à bras par un seul homme. Une batterie de quatre de ces machines a pu fraiser en soixante jours les 60 000 trous du pont cuirassé du croiseur grec *Hydra*.

6° Palan électrique. Adaptation d'une dynamo à un palan à vis de 500 *kg*.

7° Pompe centrifuge à commande électrique.

L'arbre de la dynamo et l'arbre de la pompe sont manchonnés directement. La vitesse de ce groupe est de 900 tours; sa puissance normale est de 18 chevaux. Le rendement mécanique d'un tel système, c'est-à-dire le rapport du travail en eau élevée au travail électrique fourni aux bornes de la dynamo est d'environ 0,45 en service courant.

8° Pompe Letestu à trois corps, en fonction aux mines de la Nueva Santa Cecilla (Hiendelaencina, Espagne).

Les pompes qui font le service de l'exhaure de cette mine sont au nombre de deux, montant l'eau, l'une du fonds du puits à une hauteur de 300 *m*, l'autre reprenant cette eau pour la monter à la surface, dont elle est distante de 280 *m*.

Ces deux pompes sont commandées électriquement. Le courant leur est fourni par une machine génératrice située à la surface et mise en mouvement par une machine à vapeur.

Les essais faits au mois de décembre 1890 nous ont montré que le rapport du travail en eau élevée au travail mesuré sur le piston de la machine à vapeur, d'après les diagrammes, s'élevait à 0,42; la détente de la machine à vapeur était d'environ 1/7 en régime continu. L'établissement de cet exhaure électrique a permis de supprimer l'épuisement par les bennes et d'effectuer sans arrêt la réparation d'un puits.

9° Cabestan électrique du chemin de fer du Nord.

Ces cabestans sont mis en service par la Compagnie du chemin de fer du Nord, dans toutes les gares où il existe une usine électrique d'éclairage. Le courant est généralement fourni par des batteries d'accumulateurs chargés par les machines d'éclairage. L'amortissement du matériel des machines d'éclairage est ainsi accru par ce nouveau service qu'elles peuvent effectuer le jour, et le prix des manœuvres s'abaisse à une valeur extrêmement faible par la suppression des chevaux et des conducteurs précédemment affectés à cet emploi (1).

10° Usine Larousse. Salle des génératrices.

Cette usine, consacrée à la fabrication des chapeaux de feutre et de paille, a été établie l'année dernière dans un immeuble à étages, précédemment occupé par une fabrique de pianos. Aucune machinerie et aucune transmission n'existaient dans cet immeuble, et il n'était pas aisé d'y monter plusieurs transmissions attaquées par une commande principale du rez-de-chaussée ou du sous-sol. En conséquence, on décida d'y appliquer dans toute sa généralité la transmission électrique. Le bâtiment des générateurs, des machines à vapeur et des réceptrices a été construit dans la cour de l'usine. Le courant des génératrices est amené par deux circuits distincts aux réceptrices disséminées dans l'usine et aux lampes à incandescence qui éclairent celle-ci.

Les génératrices sont au nombre de deux, commandées respectivement par une machine à vapeur, et alimentent, l'une les lampes, l'autre les réceptrices quand le travail est maximum; quand le travail est restreint, un seul des deux groupes est mis en activité et peut alimenter à la fois les lampes et les réceptrices en service.

11° Salle des Machines à coudre de l'usine Larousse.

Cette salle comprend au maximum 180 machines à coudre en activité et réparties en 28 groupes d'importance variable, commandés deux à deux par 14 réceptrices dont la puissance maxima est de 1 cheval 1/2. La puissance exigée des réceptrices varie suivant le nombre des machines à coudre embrayées, et cependant la vitesse doit rester sensiblement constante. Cette condition est réalisée, et l'arrêt ou l'embrayage de plusieurs machines d'un groupe ne réagit pas sur le fonctionnement des autres machines de ce groupe.

(1) Ces appareils et ce service ont été établis sur les instructions de M. Albert Sartiaux, ingénieur chef de l'exploitation des chemins de fer du Nord, par les soins et d'après les études de M. Eugène Sartiaux, ingénieur chef des services électriques de cette Compagnie.

En dehors de ces réceptrices, il en existe d'autres destinées au service des monte-charges, pompes, essoreuses, tours à bichonner, etc.

12° Plan d'ensemble du chantier électrique de MM. Coiseau, Couvreux et Allard. Avant-port de Bilbao.

La manœuvre électrique est employée dans ce chantier pour la mise en bateau des blocs de béton de 75 et de 100 *t*.

Ces blocs sont pris dans le parc où ils ont été moulés par un bardeur qui les soulève et les transporte jusqu'à un truck sur lequel ils sont déposés; ce truck les conduit sous le transbordeur qui, par une dernière manœuvre, les dépose dans le bateau qui va les immerger. Le bardeur, le truck et le transbordeur ont tous leurs mouvements commandés électriquement et reçoivent le courant d'une génératrice actionnée directement par un moteur spécial situé dans l'atelier du chantier.

13° Le bardeur est représenté vu de face et tenant soulevé un bloc de 100 *t*.

Toute la machinerie est située à la partie supérieure et abritée sous une construction légère munie de vitrages. Le courant est pris par l'intermédiaire de galets fixés à l'extrémité de perches de bambou et roulant sous des câbles de cuivre nu dont ils peuvent suivre les inflexions. Les câbles sont au nombre de deux et disposés parallèlement aux rails sur lesquels se meut le bardeur.

14° Le truck se meut sur une voie normale aux voies du bardeur et prend son courant d'une manière analogue à ce que nous avons indiqué pour le bardeur; mais les galets de prise de courant sont montés d'une manière rigide sur des supports très courts; les fils qui amènent le courant se trouvent à moins de 1 *m* au-dessus du sol.

15° Quant au transbordeur, les prises de courant y sont faciles, puisque le treuil seul se déplace sur la charpente de l'appareil qui est fixe.

Tous ces appareils montés en dérivation sur la génératrice fonctionnent d'une façon rigoureusement indépendante. On peut faire varier la vitesse des réceptrices entre telles limites qu'on veut et en opérer le changement de marche instantanément, suivant les besoins.

La puissance de la génératrice est de 50 chevaux en service normal, mais cette machine est susceptible de se prêter à des coups de collier d'une puissance très supérieure, comme il est

nécessaire dans certains démarrages et lorsque les voies sont accidentellement dénivelées.

16°, 17°, 18°. Les tramways électriques de Washington, de Lynn et de Revere Beach (1) ont été établis par la Société Thomson Houston, et les vues présentées nous ont été communiquées par M. Abdank, Ingénieur en chef de la Société Continentale.

On voit à la partie supérieure des tramways les prises de courant comme celles que nous avons indiquées pour le bardeur de MM. Coiseau, Couvreux et Allard, mais la ligne aérienne n'est composée que d'un seul fil, et le retour du courant s'effectue par les essieux, les roues et les rails. Nous devons signaler que ce dispositif ne serait pas autorisé en France, où le retour par la terre est interdit avec juste raison d'une façon formelle.

19° Transmission de Domène (2). Vue du barrage et de la prise d'eau.

20° Transmission de Domène. Vue de la conduite en tôle.

21° — Vue du poste de la génératrice.

22° — Vue de la réceptrice mise en marche.

23° Chutes de la Valloirette. Vue du rocher du Télégraphe (Saint-Michel, Savoie).

Une croix fixée sur la croupe d'un rocher indique l'origine de la chute projetée de 600 *m*.

24°, 25°, 26° et 27° Vues des gorges et cascades du ruisseau de la Valloirette.

28° Chutes du Niagara. Le grand Fer à cheval vu de la rive canadienne.

29° Le même vu de la rive américaine.

30° Photographie instantanée d'une partie de la chute vue des Rapides.

(1) États-Unis.

(2) Voir *Bulletin de la Société des Ingénieurs civils*. Séance du 18 juillet 1890.

ANNEXE [1]

Applications.

MATÉRIEL D'ENTREPRENEURS — CHANTIERS

Appareils de levage : treuils simples, grues, treuils roulants, treuils à barder, monte-charges.
Treuils de sonnettes à déclic.
Transmissions d'excavateurs.
Pompes d'épuisement pour batardeaux.
Immersion de caissons.
Compresseurs d'air pour sas, caissons, etc.
Pompes d'asséchement.
Ascenseurs. — Plans inclinés, va-et-vient.
Perforatrices.
Malaxeurs à béton.
Machines portatives à poinçonner, à percer, à river (montage de charpentes métalliques, coques en fer, etc.).

MATÉRIEL DES MINES ET CARRIÈRES

Perforatrices, hâveuses.
Pompes d'exhaure (actionnées directement à l'étage d'épuisement. Suppression des tiges et contre-poids).
Ventilateurs.
Trainage mécanique.
Manutention au jour, triage, lavage, trommels, etc.

SERVICE DES USINES ET ATELIERS

Machines, outils à grande vitesse (actionnés directement).
Machines à bois (raboteuses, toupies, scies circulaires et à ruban, mortaiseuses, couteaux américains, etc.

(1) Cette annexe est une liste d'applications des transmissions électriques que nous indiquions dans notre ouvrage sur la *Transmission électrique du travail mécanique* (Masson, éditeur, 1884). A l'époque où cet ouvrage a été publié, il n'existait que quelques rares exemples de ces applications, dont la plupart n'étaient indiquées que comme probables. Actuellement, il n'en est pas une qui n'ait été réalisée, et c'est pourquoi nous reproduisons textuellement cette liste.

Meules à affûter, ébarber, polir, etc.

Outils éloignés de la transmission principale : appareils de chargement et de déchargement pour les usines à production continue (râperies, sucreries, raffineries, stéarineries, briqueteries, etc.).

SUBSTITUTION DE LA DISTRIBUTION ÉLECTRIQUE A LA DISTRIBUTION HYDRAULIQUE

Appareils de chargement et de déchargement des gares de chemins de fer, gares maritimes, quais, ports de mer.

Manœuvres des gares de triages.

MANŒUVRE DES ENGINS ET APPAREILS DES NAVIRES

Grues, cabestans, vireurs, monte-escarbilles.

Manœuvre directe de la barre (par inverseur à mouvement continu) à toute distance (timonerie, passerelle, chambre de veille, etc.). Servomoteurs électriques.

Manœuvre à distance de la vis de décalage des excentriques de servomoteurs existants.

NOTE

SUR

LES TRANSMISSIONS ÉLECTRIQUES DES MINES DE FARIA

PAR

M. A. de BOVET

La Société des mines d'or de Faria (État de Minas-Geraës, Brésil) a organisé son premier siège d'extraction entièrement avec des transmissions électriques.

Cette installation destinée à être mise en service dans une région éloignée et fort dépourvue de ressources, entre les mains d'ouvriers quelconques, a été étudiée surtout au point de vue de son adaptation aux conditions locales. C'est là ce qui en fait le principal intérêt, car, par ailleurs, la quantité de force transmise est faible (15 chevaux actuellement, pouvant aller à 30); la distance de transport est fort ordinaire (1 600 *m*) et elle ne se recommande par aucune innovation curieuse au point de vue électrique. On a cherché en effet, dans l'organisation même du matériel, les garanties de sécurité qu'on ne pouvait attendre de la valeur ni des aptitudes des ouvriers; on n'a employé par conséquent que des appareils d'un fonctionnement sûr et éprouvé en s'ingéniant, en outre, à éviter tout ce qui, entre des mains malhabiles, eût pu augmenter les probabilités d'accidents comme, par exemple, tous accroissements de vitesses ou d'intensités de courants au delà des allures de régime. On a même voulu se prémunir, dans la mesure du possible, contre les conséquences de l'état de surprise ou de méfiance que devaient provoquer dans le personnel local des machines aussi nouvelles et aussi extraordinaires pour lui. On est arrivé ainsi dans une installation qui comporte des manœuvres très fréquentes à soustraire

presque entièrement la partie électrique à l'action des ouvriers indigènes et à pouvoir marcher avec sécurité, sous la surveillance du personnel dirigeant, sans le concours d'électriciens qu'on n'eût pas pu se procurer sur place.

Tout en se prêtant aisément à une combinaison de ce genre, les transmissions électriques n'en conservent pas moins tous leurs autres avantages : une extrême souplesse, de très réelles facilités d'installation et d'entretien, une grande capacité de transmission sous un poids relativement faible et avec des appareils nullement encombrants ; toutes les qualités, en un mot, qui les rendent si précieuses en maintes circonstances.

C'est ce que nous voudrions contribuer à mettre en évidence en décrivant cette installation et en donnant quelques indications sur les débuts de son fonctionnement.

I

Quand la Société actuelle des mines d'or de Faria s'est constituée, pour acheter et exploiter la concession de Faria, le filon était à peine entamé sur ses affleurements.

Tout comme le fameux gisement de Morro-Velho, dont il n'est distant que de 6 *km* environ, le gîte de Faria semble être constitué par une cheminée riche et épaisse dans un filon de quartz et pyrites. Le filon paraît avoir une inclinaison de 35 degrés environ sur la verticale ; mais, dans son plan, la cheminée riche est fortement inclinée sur l'horizontale : comme elle vient au jour sur le flanc d'une colline dont la pente est, en ce point, de même sens que la sienne, les affleurements présentent, suivant la direction, un développement considérable. Les premiers occupants ont trouvé là de belles masses de minerai à portée de la main ; ils les ont enlevées partout où ils l'ont pu faire sans trop de peine laissant à la place une succession de très grandes excavations, aujourd'hui partiellement éboulées. La dernière en date, celle qui se trouve au niveau le plus bas, est toute récente : elle a été l'œuvre du dernier propriétaire de la mine, le colonel Assis Jardim, qui, avec de maigres ressources, exploitait petitement.

Tandis que les plus anciennes ont été creusées entièrement à ciel ouvert, celle-ci, qui a encore à sa partie supérieure une petite ouverture au jour, communiquait pratiquement avec la surface par le bas, au moyen d'une courte galerie servant à l'extraction et à l'épuisement. Faute d'une pompe et d'une force suffisante

pour la faire mouvoir, faute de ressources permettant de percer plus bas un nouveau travers-bancs qui aurait dû avoir une assez grande longueur, il a fallu s'arrêter quand les travaux ont dépassé en profondeur le sol de la galerie existante et cet arrêt des travaux a précédé de peu la vente de la mine.

Le minerai extrait était porté, à dos de mulet, à près de 600 *m* de distance, à un petit moulin de six flèches installé à côté de la maison de Faria. Avec l'eau sortant de la mine, avec celle de quelques ruisseaux voisins amenée par de simples rigoles, on avait de quoi faire marcher ce moulin de façon intermittente et le lavage des sables provenant du broyage était achevé à la battée.

Rien de plus modeste, on le voit, que cette ancienne exploitation qui, cependant, telle quelle, produisait assez pour qu'on ne l'ait abandonnée que devant l'impossibilité matérielle de la poursuivre; et du reste le manque de ressources financières avait seul empêché de lui donner un développement plus considérable en mettant à profit les moyens d'action qui existent sur place.

La concession de Faria, en effet, comporte le droit d'utiliser l'eau du ribeirão de Macacos, dont le lit limite d'un côté la propriété. Ce n'est qu'un petit affluent du Rio das Velhas; il a très peu de longueur, mais coule avec une forte pente moyenne dans un pays assez boisé et roule encore au cœur de la saison sèche un volume d'eau dépassant beaucoup les besoins d'une exploitation même très importante. Les rives, fort escarpées, se prêtent mal, il est vrai, à l'exécution d'un canal de dérivation, mais ce n'est là qu'une difficulté et non une impossibilité, et le fait dans ces régions, de pouvoir disposer d'une force motrice hydraulique, est d'une importance capitale. Quelques indications sur les conditions générales du pays le feront bien comprendre et ne seront, du reste, pas inutiles pour l'intelligence de ce qui suivra.

Faria est à 560 *km* au nord de Rio-de-Janeiro, dans le bassin du Rio das Velhas et, depuis quelques mois seulement, à 3 *km* d'une station de chemin de fer. Cette station était, l'été dernier, le terminus provisoire de la grande ligne qui, partant de Rio-de-Janeiro, doit aboutir au San Francisco en un point où ce fleuve est franchement navigable et qui est déjà et restera l'une des voies de communication les plus importantes de cet immense pays. A son origine, du côté de Rio-de-Janeiro, elle traverse les grandes zones de production de café; là elle est venue chercher un trafic existant. Plus loin, déjà bien avant d'arriver à son extré-

mité actuelle, elle attend les éléments d'un trafic qui naîtra du fait même de sa construction et elle permettra la mise en valeur des territoires qu'elle dessert et où tout est à créer. Toutes ces régions, en effet, prêtes déjà pour la culture et sûrement appelées à un bel avenir, n'offrent encore de ressources industrielles d'aucune espèce : c'est tout juste si elles peuvent fournir quelques barres de fer brut, très bon, c'est vrai, mais encore plus cher.

On y fait assez couramment des roues à augets et des bocards en bois, mais, hors cela, les locomotives qui y ont pénétré récemment sont à peu près les seules machines qu'y aient encore vues les habitants. Tout, dans cet ordre d'idées, leur est donc nouveau et si l'on peut en général compter de leur part sur beaucoup de bonne volonté, il n'en est pas moins nécessaire dans le choix d'un matériel mécanique à installer de tenir grand compte de leur inexpérience et de la difficulté des réparations éventuelles.

Le bois est assez abondant dans le pays. Sur pied il n'a presque pas de valeur et l'abatage ne coûte pas cher, mais il n'en va plus de même du transport. Il est à peine besoin de dire qu'il n'y a pas de routes et c'est bien juste si l'on peut donner le nom de chemins à ce qui en tient lieu. Les charrois s'y font avec des chars à un seul essieu (généralement les roues et l'essieu sont en bois) qui peuvent porter jusqu'à 1 000 *kg*, mais demandent alors 14, 16 ou 18 bœufs pour les tirer. Pendant le gros de la saison des pluies ces chemins sont presque impraticables; en temps sec, ils sont meilleurs, mais pendant la fin de cette dernière saison l'herbe devient rare et la nourriture des bœufs difficile. On peut donc, quitte à les payer en somme assez cher, utiliser ces bois pour les constructions et installations diverses, d'autant plus qu'ils sont de qualité extrêmement remarquable ; mais il devient très vite ruineux de les employer au chauffage pour une machine à vapeur de quelque importance. C'est au point que, dans le voisinage d'une gare au moins, s'il fallait avoir des chaudières, le plus économique serait, je crois, de les alimenter avec de la houille venue d'Europe. Pour peu que l'on obtienne, pour de la houille à consommer ainsi, une atténuation des droits de douane et un tarif de faveur du chemin de fer, elle pourrait coûter, aux environs de Faria, de 60 à 70 *f* la tonne. On voit par là tout l'intérêt qu'il y a à utiliser, fût-ce au prix de quelques sacrifices, les forces motrices hydrauliques, qui sont du reste partout faciles à créer.

Ajoutons enfin que le marché de Rio présente encore mainte-

nant, au point de vue métallurgique et mécanique, très peu de ressources, et qu'il est long et coûteux d'y faire faire, dans les rares ateliers existants, une pièce de machine, même petite et simple. On n'y trouve guère avec facilité que les objets qui peuvent être d'un usage courant pour les producteurs de café et de sucre. De plus, malgré l'économie de temps énorme que les chemins de fer ont permis de réaliser sur les procédés de transport en usage il y a à peine quelques années, il n'en faut pas moins encore cinq à six mois entre le moment où une commande de matériel est envoyée de Faria en Europe et le moment où l'objet demandé arrive à destination, et nous admettons qu'il n'a été nulle part perdu de temps. La cause en est pour beaucoup dans les lenteurs de la douane.

Il faut donc compter sur un très long temps pour le remplacement de toute pièce qui, ne pouvant être refaite sur place avec les petits moyens dont dispose une exploitation isolée, pourrait être commandée à Rio ou devrait être demandée en Europe. Et comme il est d'une mauvaise économie d'accumuler en magasin un matériel trop considérable, il y a là encore une considération qui doit intervenir dans le choix des machines à employer.

Quant aux ressources en fait de main-d'œuvre, on conçoit facilement ce qu'elles peuvent être. Quelques ouvriers relativement habiles, accoutumés tout au moins au travail des bois; des mineurs rares et généralement médiocres; un petit nombre d'hommes connaissant le travail des moulins et de l'amalgamation. A côté d'eux la masse banale des ouvriers sans aucune aptitude spéciale; ouvriers de pays chauds, faciles à vivre, mais d'allures irrégulières, travaillant un peu quand il leur plaît : rarement on peut constater la présence sur les chantiers de plus des deux tiers de l'effectif inscrit, si bien qu'il est bon de n'avoir à leur confier que des travaux pour lesquels il soit facile de les remplacer les uns par les autres sans grande préparation. Quant aux ouvriers spéciaux vraiment habiles, il faut les faire venir.

Telles sont, sommairement indiquées, les conditions de travail dans la région de Faria. Quels allaient être les besoins de l'exploitation à mettre en activité?

Le filon de Faria affleure à flanc de coteau à une grande hauteur, et au moment où les travaux avaient été abandonnés, le sol de la dernière excavation du colonel Jardim était à 214 *m* au-dessus du fond de la vallée. Une galerie à travers-bancs convena-

blement placée pouvait donc donner une hauteur de minerai susceptible d'alimenter longtemps l'exploitation.

L'étude du terrain fit voir bien vite qu'une galerie percée au niveau de la rivière aurait une longueur tout à fait excessive (les parties basses de la vallée de Macacos ayant une pente assez faible dans la direction justement qu'il aurait fallu donner à cet ouvrage), mais qu'il serait possible, en la remontant d'environ 65 *m*, d'atteindre le filon, au moyen d'un tunnel de 1 000 à 1 100 *m*, à 150 *m* au-dessous du fond des anciens travaux. Cela eût encore donné une belle marge, mais un pareil travail devait être fort dispendieux et durer très longtemps, trois ans au moins, en admettant qu'il ne se produisit aucun contre-temps. Pour en justifier l'exécution il eût fallu avoir sur l'importance, la continuité et l'allure du gisement des certitudes qui manquaient alors, quelque importants qu'eussent été les travaux anciens à la surface du sol et qui étaient indispensables, ne fût-ce que pour pouvoir en marquer la place et la direction exacte.

Les excavations existantes, en effet, pouvaient parfaitement correspondre à l'arrivée au jour d'une cheminée verticale ou voisine de la verticale ; on le pensait du reste à l'époque, et les travaux ultérieurs ont seuls fait supposer qu'elle était, au contraire, fortement inclinée et qu'elle s'écarterait, par conséquent, beaucoup en profondeur du point où l'on eût été *a priori* tenté de vouloir la rejoindre.

Le percement de cette galerie devait donc forcément être renvoyé à une époque ultérieure et subordonné à ce que des travaux exécutés dans la partie supérieure du filon permettraient d'apprendre sur son allure.

Sur les affleurements mêmes le terrain était trop bouleversé par les anciens travaux et par les éboulis pour qu'il fût possible de pénétrer immédiatement en plein minerai au moyen d'un puits incliné suivant la pente du gîte.

Restaient deux solutions possibles : ou une galerie horizontale qui devait avoir au moins 345 *m* pour rejoindre le filon à 40 *m* environ au-dessous des derniers travaux; ou un puits vertical placé dans la région du toit, près du filon, et que l'on pouvait foncer à une profondeur à déterminer arbitrairement.

On s'arrêta à la seconde, après avoir trouve un point favorable à l'exécution d'un puits dont la bouche devait se trouver à 12 *m* au-dessus du fond de la dernière excavation du colonel Jardim et qui, arrivé à 40 *m* de profondeur, pouvait être rejoint au filon

par une galerie de 40 *m* au plus, en donnant près de 30 *m* de hauteur de minerai exploitable.

C'était là évidemment la méthode qui devait permettre d'aboutir le plus vite. On était assez près des anciens travaux pour être assuré que le travers-bancs partant du fond du puits arriverait dans des parties exploitables, ou tout au moins dans leur voisinage immédiat : les travaux de traçage et d'exploitation au niveau de ce travers-bancs devaient donner des éléments d'appréciation pour permettre de déterminer avec quelque précision l'emplacement et la direction les meilleurs de la grande galerie inférieure si on la voulait faire. Enfin il suffirait de prolonger le puits en profondeur pour livrer à l'exploitation un second étage au cas où le premier n'aurait pas suffi pendant la durée d'exécution de la galerie du bas.

J'aurai occasion d'indiquer plus loin quelles modifications les circonstances obligèrent d'apporter à ce programme. Il ne saurait être question ici d'en faire la discussion, puisqu'il ne s'agit pas d'étudier l'exploitation de la mine de Faria ; les quelques indications que nous donnons à ce sujet ont uniquement pour but de faire suffisamment connaître les conditions que devait avoir à remplir l'installation électrique que nous voulons décrire. Je me contente donc de l'exposer simplement comme on énonce les conditions d'un problème : qu'il me soit permis cependant d'ajouter, connaissant les lieux et n'ayant été pour rien dans son élaboration, qu'il était je crois impossible d'y trouver une objection à l'époque où il a été arrêté. Si des événements imprévus, et *a priori* bien improbables, en sont venus contrarier la stricte exécution, c'est là un cas singulièrement fréquent en ces sortes d'entreprises et notre exemple n'en sera que plus complet.

La mise à exécution de ce projet devait exiger des machines pour l'extraction et pour l'épuisement. Pour les premières on en pouvait *a priori* déterminer la puissance d'après l'importance que devrait avoir l'exploitation. Pour les secondes, toute donnée positive manquait. On savait seulement qu'en général les mines de la région n'avaient pas rencontré de ce côté de difficultés bien sérieuses et dans ce cas particulier la situation même du gite (de la partie à atteindre surtout) par rapport au fond de la vallée et à toute la zone avoisinante devait écarter toute espèce de crainte puisque les affleurements sont presque à la hauteur des points culminants de la région. Il n'y avait donc aucune raison de prévoir qu'un afflux d'eau gênant pût venir entraver l'exécution des

travaux projetés ou exiger une dépense de force exagérée. Par le fait, comme nous le verrons, de toutes les prévisions premières, celle-là seule, qui était la plus légitime et semblait la mieux assurée fut tout justement démentie par l'événement, et il est encore aujourd'hui difficile, malgré la connaissance plus complète des terrains, d'en deviner la cause.

Quoi qu'il en soit, au début, la situation était donc la suivante : il fallait au puits des machines d'extraction et d'épuisement. Il y avait lieu, pour les raisons qu'on a vues, d'employer des moteurs hydrauliques; et la position du puits était déterminée par ce fait que toute l'économie du système résultait justement de son voisinage des affleurements et, comme conséquence, du faible développement à donner aux travaux souterrains avant d'arriver à pouvoir extraire du minerai.

Par ailleurs, l'étude minutieuse du terrain avait fait découvrir non sans peine un tracé relativement favorable pour l'exécution du canal. Ce tracé, partant d'une cascade que formait un barrage naturel en roches dures de fer oligiste, comportait une longueur totale de 6 *km*; il permettait de créer une chute de 40 *m* et venait aboutir à sa plus faible distance de la mine en un point propice à l'installation des moulins. Le transport du minerai à broyer y pouvait être relativement facile, devant se faire entièrement en descente.

Seulement l'arrivée du canal, si l'on adoptait ce tracé, allait se trouver à plus de 1 000 *m* de distance du puits et à 183 *m* en contrebas. Nous venons de voir que les raisons mêmes qui avaient fait décider le creusement d'un puits en avaient imposé la place : on eût pu, il est vrai, chercher pour le canal un autre tracé aboutissant à cette même place et venant y apporter la force motrice nécessaire. Il y a lieu de croire qu'on n'aurait à cela rencontré aucune impossibilité, mais il eût fallu au moins 16 *km* au lieu de 6, soit 10 de plus, et à raison de 55 000 *f* environ pour chacun qu'a coûté le canal actuellement fait, une dépense supplémentaire d'au moins 550 000 *f*. C'eût été beaucoup.

On se trouvait donc conduit à une véritable incompatibilité entre les diverses conditions auxquelles il était raisonnable de vouloir satisfaire, si tout justement la possibilité d'employer des transmissions électriques n'avait pas permis de vaincre la difficulté.

J'étais, pour ma part, d'autant plus porté à en préconiser l'usage, qu'un premier essai fait en 1883 aux environs de Diamantana, dans des conditions plus simples mais aussi infiniment plus pré-

caires que celles qu'on allait rencontrer à Faria, m'avait donné grande confiance dans la possibilité de leur emploi, même dans des régions d'aussi peu de ressources. Peut-être même pourrait-on dire : surtout dans de pareilles régions. Neuves pour nous, ces machines, en effet, ne le seront pas plus pour les ouvriers locaux que tant d'autres avec lesquelles nous sommes plus familiarisés : leur grande capacité sous un poids relativement faible est d'un avantage évident au point de vue du transport sur place, et les facilités d'installation et d'entretien suffiraient en outre à les recommander. L'administrateur directeur de la Société, M. Boutan, ayant, de son côté, adopté cette manière de voir, nous dûmes étudier ensemble un matériel approprié aux besoins qui viennent d'être indiqués, matériel qui fut expédié à Faria en 1888, et installé sur place par les soins de M. Thiré, directeur de la mine.

Les développements qui précèdent, pour étrangers qu'ils soient à la description même de ce matériel, qui est le but de cette note, ne sont peut-être pas superflus. Non seulement la connaissance des besoins à satisfaire et des conditions locales est nécessaire our permettre de porter un jugement sur la solution adoptée, mais ils provoquent en outre une observation qui n'est pas sans intérêt. On sait quelles difficultés rencontre l'installation de moteurs dans les travaux souterrains, et que cependant ils y sont parfois d'une utilité telle qu'on en fait souvent usage malgré ces difficultés. Plus faciles à employer, ils y seraient évidemment plus répandus, et c'est pour cela que chacun a tout d'abord compris de quelle importance devait être un jour, pour les travaux du fond, l'usage des transmissions électriques. Or, on voit par l'exemple ci-dessus que ce n'est pas pour les travaux souterrains seulement que ces transmissions peuvent être d'un grand secours et qu'elles ne présentent pas moins d'intérêt pour les travaux de surface dans les mines au moins qui, ne produisant pas ou ne pouvant pas se procurer de la houille, en sont réduites à utiliser la force des chutes d'eau voisines. Il n'est pas indifférent, en pareil cas, de pouvoir, sans rien sacrifier, rechercher pour la disposition d'ensemble des travaux les solutions que l'état des lieux rend les plus favorables. Cette indépendance relative des différentes parties de l'exploitation sera d'ordinaire précieuse, et ce n'est justement que la disposition d'un procédé pratique et efficace de transmission de force qui la rend possible.

II

Quoique les installations de transmission de force par l'électricité commencent à se répandre, elles ne sont pas encore assez entrées dans la pratique courante pour qu'on n'apporte pas volontiers à leur étude une prudence plus grande que quand il s'agit d'un matériel plus familier, prudence parfois quelque peu excessive. Dans le cas particulier qui nous occupe, l'étude du matériel a été entreprise en 1887 (il n'est pas inutile en ces matières d'indiquer des dates) et avec cette circonstance particulière que les machines à construire devaient être mises sous la surveillance d'un état-major très restreint, entre les mains du personnel ouvrier dont il a été question plus haut. Il faut toujours craindre en pareil cas quelque peu de gaucherie, qui s'atténuera à mesure que l'homme se familiarisera peu à peu avec la machine (et cela viendra d'autant plus vite qu'il la pourra plus aisément comprendre), qui, au contraire, s'exagérera si le mode de fonctionnement des appareils reste pour lui trop mystérieux.

Or, si les mécaniciens allaient être rares à Faria, les électriciens devaient l'être encore bien davantage ; de plus, tout appareil purement mécanique est évidemment d'une compréhension plus aisée et plus rapide par son aspect même que n'importe quelle machine électrique. Il fut donc posé en principe avant de commencer l'étude de l'installation qu'elle devrait être réalisée de telle façon que les ouvriers eussent à agir le moins possible sur la partie purement électrique.

Comme première conséquence on décida tout d'abord que les deux services de l'extraction et de l'épuisement seraient absolument distincts et qu'on ne viendrait pas distribuer près du puits, aux diverses réceptrices, le courant amené par une ligne unique d'une génératrice ou d'un groupe de génératrices. Au surplus, en tout état de cause, cette détermination se trouverait justifiée par l'intérêt majeur qu'il y a à laisser absolument indépendants ces deux services dont le fonctionnement est si différent. Elle offre en outre l'avantage que, en cas d'avarie, tous deux ne se trouveraient pas nécessairement arrêtés en même temps et qu'il faudrait un accident bien exceptionnel pour qu'on se vît totalement privé de force motrice à la bouche du puits et pour que l'une des deux installations ne pût pas suppléer à une défaillance accidentelle de l'autre. Naturellement la séparation, du moment qu'on la voulait,

devait être faite non seulement à partir des machines génératrices, mais même dès les moteurs qui seraient distincts et alimentés, à partir du canal commun, par des conduites distinctes.

Les arrêts et mises en marche des appareils d'épuisement sont rares, leur service étant en fait très régulier et se faisant par longues périodes quand il n'est pas tout à fait continu. Le fait même que ces manœuvres sont rares est une garantie qu'elles seront faites avec quelque soin : elles seront donc pratiquement, sans inconvénient et sans danger, à condition de disposer convenablement un rhéostat d'arrêt près des réceptrices, et du reste elles pourront encore mieux être faites presque toujours sur le moteur lui-même et dès lors sans faire courir le moindre risque aux dynamos.

Il n'en est plus de même pour le service de l'extraction qui se résume en une série ininterrompue d'arrêts et de mises en marche fréquents avec changement de sens chaque fois. On est de plus exposé à ce que ces manœuvres, celles d'arrêt tout au moins, soient faites avec une extrême brusquerie, pour peu que le mécanicien s'aperçoive tout d'un coup (et il est à peu près inévitable que cela arrive au moins de loin en loin) qu'il ne s'y est pas pris à temps pour arrêter les bennes. Il n'y a pas à faire grand fonds en pareil cas sur l'efficacité d'un rhéostat sur lequel, voyant sa benne aller aux molettes, il passera à toute vitesse. Il faut considérer du reste qu'il s'agit ici d'un puits vertical, que par conséquent, si l'arrêt doit être obtenu par rupture du circuit, cette rupture se fera toujours en charge et que ce sera toujours par les plus grandes vitesses qu'elle se fera le plus brusquement quand se réaliseront les éventualités que nous venons d'envisager.

Les accidents qui peuvent se produire sur une dynamo en pareilles circonstances sont tout justement ceux que les conditions locales, dans le cas qui nous occupe, rendraient les plus fâcheux, car si on peut encore à la rigueur, dans l'atelier de la mine, aborder l'exécution d'une petite pièce de machine, il ne saurait être question d'y réparer un induit brûlé. Ce sont de plus ceux dont il serait le plus difficile de faire concevoir la raison, ou même la possibilité, au personnel dont on dispose et auquel il vaut mieux dès lors n'avoir même pas à en parler.

Pour ces motifs, on décida en principe que le mécanicien de l'extraction ne devrait avoir à toucher ni à la ligne, ni à la dynamo pour faire les manœuvres. Il est à peine besoin de dire qu'on ne peut pas essayer en pareil cas à les faire à distance, fût-ce avec le

secours d'un téléphone, en agissant sur le moteur qu'il faut de toute nécessité tenir continuellement en marche, et l'organisation du treuil devait dès lors comporter des embrayages convenables pour les arrêts et les mises en marche soit en avant, soit en arrière, sur un arbre commandé par la machine réceptrice et tournant toujours et toujours dans le même sens.

Il est hors de doute qu'une pareille solution conduit à des appareils mécaniques plus compliqués et plus encombrants et qu'il est fort tentant de lui préférer un quelconque des procédés qui permettent de faire les arrêts et les changements de marche avec la dynamo réceptrice : tous ceux entre autres qui sont en usage sur les tramways électriques pourraient en pareil cas trouver leur emploi puisqu'il s'agit en somme de manœuvres tout à fait analogues. Telle quelle cependant, elle nous paraît au moins aussi légitime, dans les conditions locales que nous avons essayé de bien faire comprendre, que pourrait être une solution tout opposée dans un milieu et avec un personnel différent. Et c'est justement à cause de cela que, n'ayant en vue en somme que la description d'un exemple déterminé, et nullement une discussion générale, il nous a paru nécessaire d'entrer dans quelques détails relatifs aux conditions de milieu puisqu'elles devaient nécessairement influer sur les procédés à choisir.

Nous avons eu occasion de dire plus haut qu'on visait surtout, en faisant un puits au lieu d'une galerie, à arriver à mettre au plus vite en exploitation un premier étage de 30 *m* utiles environ ; mais il était à prévoir qu'il y aurait nécessité d'approfondir ce puits pour exploiter un second étage pendant que durerait le percement du grand travers-bancs de plus de 1 *km* dont l'exécution était probable. Il fallait donc s'outiller pour faire face à tous les besoins au moment où l'on devrait exploiter au niveau du bas du second étage. On décida cependant de ne monter d'abord que les machines nécessaires aux travaux de l'étage n° 1 correspondant à une profondeur de près de 40 *m* pour le puits, mais en s'organisant de façon à pouvoir, le jour où l'on aurait besoin au puits d'une force motrice plus considérable, l'obtenir par la seule addition de nouvelles dynamos, suivant la méthode indiquée par M. Fontania. Pour l'une et l'autre des deux transmissions, l'addition d'une seconde génératrice et d'une seconde réceptrice couplées en tension avec les premières, reliées en outre mécaniquement avec elles, permettrait de doubler la force électromotrice et par suite

de transmettre une puissance double en conservant la même intensité de courant (sans avoir rien à modifier par conséquent aux lignes), et en conservant la même vitesse aux appareils devenus simplement capables de monter dans ce même temps des charges doubles. La seule précaution à prendre devait être de faire les appareils, treuils et pompes, assez robustes pour leur permettre de résister à coup sûr à cet effort double.

Cet exemple rend bien sensible un des principaux avantages des transmissions de ce genre. Quoi de plus précieux en effet que cette souplesse qui permet de fractionner en quelque sorte une installation, de n'en réaliser d'abord qu'une partie, de restreindre par conséquent les dépenses toujours si lourdes du début et de la compléter ultérieurement, s'il y a lieu, sans rien perdre de ce qui a été fait d'abord et sans que cette manière d'agir introduise dans l'ensemble final la moindre défectuosité ? Dans le cas particulier de Faria, on trouvait à cette manière de faire un autre avantage, celui de n'avoir pas à expédier, par masses indivisibles, des machines par trop lourdes, d'un transport et d'une manipulation presque impossibles.

Il est prudent, dans une exploitation si lointaine, à raison même de la lenteur avec laquelle peuvent être exécutées les commandes émanant de la direction locale, d'avoir en magasin une certaine quantité de matériel de rechange; mais, d'autre part, il y a un intérêt évident à n'en pas exagérer inutilement l'importance. On résolut en conséquence de faire, pour chaque transmission, les génératrices et les réceptrices pareilles de telle façon qu'une dynamo donnée pût être placée indifféremment à l'une ou l'autre extrémité de la ligne. Il en résulte, il est vrai, un léger surcroît de dépense puisque les réceptrices pourraient être de dimensions un peu moindres, mais on y trouve ce grand avantage qu'une seule machine supplémentaire peut suffire comme machine de rechange pour deux et même à la rigueur pour quatre dynamos en service.

Restait la question des moteurs.

A son arrivée, le canal donne une chute totale de 40*m* : la force motrice disponible doit être en grande partie utilisée pour les moulins et il était tout indiqué de se servir comme moteurs pour ces moulins de roues à augets : cela conduisait naturellement à utiliser la chute totale en trois étages successifs de 12 à 13 *m* chacun.

Avec les dimensions correspondant à cette hauteur de chute, les roues en dessus peuvent se construire sur place dans de bonnes conditions : on les fait en bois, elles ne coûtent pas très cher et sont faciles à entretenir ou à réparer. Ce sont là des avantages qu on ne saurait dédaigner. Mais, par contre, si l'allure de ces roues s'accommode parfaitement à la marche d'un bocard, il n'en est plus de même pour la commande de dynamos qui tournent à des vitesses de l'ordre de celles que l'on obtient couramment avec des turbines. De plus, comme nous le verrons plus loin, il pouvait y avoir un sérieux intérêt à munir les moteurs des transmissions électriques de régulateurs sensibles et à action rapide plus faciles à réaliser avec des turbines qu'avec des roues à augets. Enfin, une turbine, en cas d'avarie, serait évidemment plus difficile à réparer sur place qu'une roue ; mais, d'autre part, il faut bien reconnaître qu'elle n'apporte pas plus de risque d'avaries que la transmission de mouvement volumineuse qu'il serait nécessaire d'avoir pour atteindre la vitesse de marche d'une dynamo en partant d'une roue tournant à 5 ou 6 tours.

La balance entre les avantages et les inconvénients des deux appareils penchait donc évidemment en faveur des turbines à condition d'éviter, d'une part, les appareils à marche très rapide, susceptibles d'être montés sur le même arbre que la dynamo en utilisant la hauteur totale de chute, mais exigeant à raison même de leur vitesse des précautions un peu trop minutieuses pour le pays ; d'autre part, ceux dont les trop grandes dimensions auraient rendu le transport et le montage difficile. On décida en conséquence de rechercher une turbine conçue à la façon de beaucoup de machines américaines dont on pourrait presque dire qu'on les emporte dans leur boîte et que là où on pose cette boîte et où on la raccorde à un tuyau, elles se trouvent prêtes à marcher. Solidement construite, du reste, et tournant à une vitesse telle que la commande des dynamos puisse aisément se faire par courroie et sans poulies de trop grandes dimensions. Fallût-il pour cela accepter un rendement légèrement inférieur à ce qu'il est théoriquement possible de réaliser, les avantages divers que présenterait un moteur ainsi conçu offriraient une compensation bien suffisante. Faute de trouver dans cet ordre d'idées quelque chose de satisfaisant, on pouvait revenir à des roues à faire sur place.

En résumé, dégagé des raisons qui l'expliquent et qui viennent d'être indiquées, le programme de l'installation comportait donc :

1° Deux transmissions entièrement distinctes : l'une pour l'extraction, l'autre pour l'épuisement ;

2° La manœuvre du treuil d'extraction au moyen d'embrayages mécaniques sans rupture de circuit, les dynamos tournant toujours et le mécanicien de l'extraction n'ayant pas à y toucher;

3° La possibilité de doubler la puissance disponible au puits en doublant le nombre des génératrices et réceptrices et en les couplant en tension de façon à n'avoir rien à modifier ni à la ligne ni dans la vitesse des appareils;

4° L'emploi de génératrices et de réceptrices identiques ;

5° L'emploi comme moteurs de turbines à axe horizontal commandant les dynamos au moyen d'une courroie;

6° L'emploi de lignes de transmissions aériennes, en câbles nus, et l'installation d'une ligne téléphonique entre le puits et le bâtiment des machines génératrices.

Nous arrivons maintenant à la description de ce matériel.

III

Matériel d'extraction.

On voulait être en état de faire, dès le début, une extraction de 50 *t* par jour dans un puits d'une profondeur projetée de 40 *m*. Ainsi qu'il a été expliqué plus haut on devait compter que cette profondeur serait portée à 80 *m* et il pouvait y avoir lieu (c'était, sinon à prévoir, au moins à désirer) d'augmenter quelque jour le tonnage si les conditions générales de la mine justifiaient l'établissement d'un grand nombre de flèches.

On décida en conséquence qu'il faudrait pouvoir extraire les 50 *t* pendant la journée seulement de façon qu'il fût possible de doubler l'extraction en prolongeant le service pendant la nuit. On adopta pour vitesse, dans le puits, des bennes guidées sur câbles 1 *m* par seconde : cette vitesse correspond à un voyage toutes les cinq minutes avec une charge de 420 *kg* et dix heures de marche. Les bennes s'équilibrant il fallait donc disposer d'un travail effectif de 7 *ch* et on admit pour ne pas compter trop juste, que la dynamo réceptrice devrait donner sur son arbre 10 chevaux.

Le treuil étant disposé de façon à pouvoir recevoir deux réceptrices l'addition de la seconde dynamo donnerait une force dispo-

nible de 20 *ch* pour monter, à la même vitesse, une charge double et on arrivait à une installation qui, selon qu'elle marcherait avec une ou deux réceptrices, qu'elle travaillerait le jour seulement ou le jour et la nuit, pourrait produire depuis 50 *t* à 40 *m* de profondeur jusqu'à 100 *t* à 80 *m*.

Pour les motifs indiqués déjà, on voulait que les réceptrices étant continuellement en marche, les manœuvres fussent faites au moyen d'embrayages, et de plus on désirait que l'appareil fût muni de freins toujours serrés pendant les arrêts. Pour la réalisation, on adopta les dispositions proposées par M. Mégy et représentées en plan et élévation, figures 5 à 7, planche 43, et en développement, figures 14 à 17.

La commande du premier arbre se fait par un engrenage hélicoïdal, au moyen d'une roue dentée à dents de bois engrenant avec un pignon en acier porté par l'arbre de la dynamo. La même disposition peut être reproduite symétriquement des deux côtés du treuil, ce qui permet de placer facilement les deux dynamos réceptrices de telle façon qu'elles soient reliées mécaniquement en même temps qu'elles sont électriquement réunies en tension. De part et d'autre du milieu de l'arbre, entre les bâtis du treuil, sont deux boîtes d'embrayage du système Mégy et, dans l'axe, le levier de manœuvre. La coupe faite sur ces boîtes (fig. 17, pl. 43) en montre bien le fonctionnement.

Les boîtes portant chacune un pignon, sont folles sur l'arbre ; au contraire les ressorts qui s'y trouvent enfermés sont solidaires de cet arbre et entraînés dans son mouvement de rotation ainsi que l'aiguille d'embrayage. Dans sa position moyenne cette aiguille tient les deux ressorts serrés, l'arbre peut donc tourner sans rien entraîner : c'est la position qui correspond aux arrêts du treuil. Que l'on agisse sur le levier de manœuvre et petit à petit, du côté d'où l'on retire l'aiguille le ressort devient libre ; il vient s'appliquer, par sa face garnie de cuir, à l'intérieur de la boîte correspondante et dès que l'adhérence est devenue suffisante cette boîte est entraînée et communique son mouvement au reste du treuil. Pendant ce temps le ressort de l'autre côté reste serré, l'aiguille de manœuvre, appliquée contre l'arbre, et actionnée par le levier au moyen de dispositifs dont les figures 6, 7 et 14, planche 43, rendent bien compte, étant de section uniforme sauf aux extrémités qui finissent en pointe allongée. Si on le manœuvre sans brusquerie, ce système permet de réaliser un embrayage progressif assez moelleux pour bien fonctionner même à la vitesse déjà

grande de 216 tours par minute à laquelle marche le premier arbre du treuil.

Le pignon denté de la boîte de gauche engrène directement avec une roue montée sous l'arbre n° 2. Pour la boîte de droite la transmission du mouvement à l'arbre suivant comporte une petite roue supplémentaire engrenant avec le pignon de la boîte d'une part et la roue de l'arbre n° 2 d'autre part, ce qui permet de faire tourner ce second arbre soit dans un sens soit dans l'autre, selon le sens de la manœuvre du levier. Les diamètres des trois roues de droite, d'une part, et des deux roues de gauche, d'autre part, sont établis de telle sorte que la vitesse soit sensiblement la même dans les deux cas.

L'arbre n° 2 transmet son mouvement au suivant au moyen de roues dentées reportées en dehors des flasques. Ce troisième arbre en effet est double : il se compose d'un arbre creux qui traverse les boîtes de frein et porte le pignon de commande du tambour et à l'intérieur duquel se trouve l'arbre qui reçoit le mouvement des machines dynamos de la façon qui vient d'être indiquée. Il y a, comme le montrent les dessins, deux freins, chacun se composant d'une boîte double, à savoir : une boîte d'embrayage et une boîte contenant le dispositif du frein proprement dit. Toutes deux sont données en coupe planche 43, la première suivant AB, figure 15, et la seconde suivant CD, figure 16.

Considérons par exemple les boîtes de gauche : celles justement qui sont représentées sur ces deux coupes.

En regardant le dessin avec attention, on voit que si l'arbre central tourne dans le sens de la flèche n° 1, le ressort, dans la boîte AB, se trouve saisi, serré, détaché de la boîte ; il peut, par conséquent, tourner avec l'arbre sans entraîner celle-ci qui, du reste, ne pourrait pas tourner dans le sens supposé puisque alors, dans la boîte CD, le ressort se trouverait vigoureusement appliqué contre les parois de son logement par les deux cliquets en forme de coin dont le fonctionnement est très sûr et très robuste, et par conséquent ferait frein d'une façon absolue. Notons, du reste, que si la boîte AB ne peut pas être entraînée dans le sens considéré, rien ne s'oppose à ce que, dans l'intérieur de cette boîte, l'extrémité de l'arbre extérieur tourne dans ce même sens.

Admettons maintenant que l'arbre central tourne en sens inverse (flèche n° 2). En AB le ressort reste détendu, appliqué contre les parois intérieures de la boîte ; il l'entraîne, et ce mouvement est libre puisque alors, en CD les cames viennent saisir les cliquets de

telle façon que le ressort est serré assez pour pouvoir tourner sans frotter.

Du côté droit, tout est disposé à l'inverse de ce que nous venons de voir. On comprend donc comment, quand la rotation de l'arbre se fait dans le sens de la flèche 1, le mouvement est transmis dans le même sens à l'arbre creux par le ressort et la boite de droite qui tourne, tandis que celle de gauche reste immobile. Au contraire, le mouvement se transmet en sens inverse par le ressort et la boite de gauche (celle de droite restant immobile) s'il a lieu dans le sens de la flèche n° 2.

Si l'excès de puissance, au lieu de venir des machines motrices, vient de la charge suspendue dans le puits, l'effort résultant n'est plus transmis par l'arbre intérieur à l'arbre extérieur, mais, au contraire, par l'arbre creux à l'arbre plein. Les deux boites participent nécessairement au mouvement et, dès lors, le ressort de frein se trouve forcément serré dans son logement par les cliquets, soit d'un côté, soit de l'autre, et tout mouvement est rigoureusement impossible.

Dans son ensemble, l'appareil est donc à double effet et tel que la rotation est toujours possible dans un sens et dans l'autre chaque fois que l'excès de puissance est produit par les dynamos, mais toujours et sûrement impossible dès que l'excès de puissance vient du côté de la charge. Autrement dit, les freins sont toujours et automatiquement serrés dès qu'on a débrayé ; comme ils sont de plus extrêmement robustes, le treuil présente de ce côté de très grandes garanties de sécurité.

Pour un effort très grand, si, par exemple, une benne venait à se coincer dans le puits, il pourrait se produire un glissement des ressorts dans les boites d'embrayage du premier arbre. Avec les freins disposés comme il vient d'être dit, ce glissement ne saurait causer aucun accident, et la possibilité qu'il se produise est, d'autre part, une garantie en ce sens que le travail nécessaire pour le provoquer correspond à une intensité de courant inférieure à celle qui risquerait de brûler les dynamos telles qu'elles ont été construites.

L'appareil très ramassé, d'une construction extrêmement robuste, est d'une manœuvre et d'une surveillance faciles pour le mécanicien, qui n'a en fait à agir que sur le levier d'embrayage. Il est aisé de s'en rendre compte en regardant au lieu du développement les fig. 5 à 7, pl. 43, qui le représentent en projection, vu de face et vu par bout.

Restait un point délicat. En somme, pour un service d'extraction comme celui-là, à faible profondeur, les périodes d'arrêt allaient représenter un temps total beaucoup plus long que les périodes de marche effective. Pendant ce temps, l'ensemble des moteurs et dynamos doit tourner à vide, produisant un travail inutile qu'il faut absorber de façon ou d'autre, en ayant soin surtout d'éviter que la suppression de la charge, lors des débrayages, provoque des accroissements de vitesse qui, mauvais en eux-mêmes, le seraient d'autant plus dans le cas présent, qu'ils conduiraient à faire ensuite des manœuvres d'embrayage sur un arbre tournant au delà d'une vitesse de régime déjà très grande.

Il y a un moyen simple d'obtenir ces deux résultats, c'est d'avoir un rhéostat capable d'absorber la totalité du travail arrivant au puits, moins la quantité nécessaire pour maintenir en marche la réceptrice et de le disposer de telle façon qu'il soit introduit dans le circuit par les manœuvres de débrayage et retiré par les manœuvres d'embrayage. De cette façon, le moteur et la génératrice resteraient indifférents aux manœuvres successives de l'extraction, tout en travaillant toujours à plein et inutilement pendant près des 4/5 de leur temps de marche.

Pour brutale qu'elle soit, cette solution n'est pas nécessairement mauvaise, car il y a des circonstances où il peut être parfaitement légitime de sacrifier l'élégance à la simplicité, d'autant plus, dans l'espèce, que, comme il n'y a pas de réservoir à l'arrivée du canal, l'eau qui n'est pas utilisée dans les machines motrices doit s'écouler par un déversoir et n'en est pas moins perdue. Dans le cas présent, on ne lui voyait guère qu'un inconvénient, celui d'échauffer inutilement la génératrice en lui maintenant toujours l'intensité de courant maximum. Cet inconvénient prenait peut-être un peu d'importance du fait de la température très élevée du milieu de la journée et de la surveillance médiocre qui pouvait être exercée; on ne l'en aurait pas moins parfaitement accepté si l'on eût eu des roues comme machines motrices. Du moment que l'on employait des turbines, il a paru préférable de chercher à l'atténuer en profitant de ce qu'elles peuvent, beaucoup plus facilement que des roues, être munies d'un régulateur sensible.

Pour cela, on a fractionné le rhéostat en portions qui aboutissent aux touches d'un commutateur. Sa mise en circuit ou hors circuit reste, comme il est dit ci-dessus, dans la dépendance des manœuvres du levier d'embrayage, mais la longueur de fil introduite en circuit dépend de la position de la manette du commutateur,

grâce à laquelle il devient possible de régler par petites quantités sa faculté d'absorption.

Le rhéostat étant ainsi fractionné et monté, la turbine à l'autre extrémité de la ligne ayant un régulateur, supposons que ce dernier soit très sensible, très rapide, et susceptible de bien régler pour toutes les quantités de travail intermédiaires entre le travail employé à la montée des bennes et le travail minimum qu'il faut demander aux machines pour que leur vitesse de régime corresponde encore à un état d'équilibre stable. Il est clair qu'alors on pourra limiter comme on le voudra, à la seule condition de rester au-dessus de ce minimum, le travail à fournir par les machines pendant les arrêts des bennes, et réduire par conséquent d'autant l'intensité du courant qui les parcourt : il suffira pour cela d'établir la manette du commutateur sur la touche correspondant au régime qu'on aura choisi et lors des débrayages le régulateur possédant toutes les qualités spécifiées ci-dessus amènera immédiatement le vannage au degré d'ouverture voulu.

Dans le fait nous venons de supposer un régulateur parfait, et pratiquement ceux que l'on peut adapter aux machines hydrauliques s'écartent notablement plus encore que ceux des appareils à vapeur de cette perfection théorique. Dans le cas particulier qui nous occupe, par exemple, puisqu'il s'agit de turbines, on ne peut évidemment pas compter sur un fonctionnement satisfaisant pour toutes les positions intermédiaires, mais uniquement pour celles qui démasquent un nombre entier d'ouvertures de l'aubage fixe. Mais, même ainsi, il était permis de supposer (et l'expérience a prouvé que c'était avec raison) que parmi les positions pratiquement utilisables du vannage, il s'en trouverait auxquelles un régulateur assez sensible pour agir vite viendrait s'arrêter rapidement en n'employant, pour rétablir l'équilibre de marche, qu'une fraction extrêmement petite de la durée des arrêts des bennes, et qu'il suffirait par ailleurs de très peu de tâtonnements pour découvrir les positions correspondantes de la manette du rhéostat. Quelles qu'elles soient, elles réduiront toujours dans une proportion plus ou moins grande le travail à produire pendant les périodes d'arrêt. S'il en est pour lesquelles la manœuvre se fasse plus vite et plus sûrement que pour les autres, ce sont celles-là qu'on choisira. S'il y en a plusieurs également faciles, on adoptera naturellement celle qui équivaut au moindre travail. Que si l'appareil est capricieux, la manœuvre de la manette du rhéostat permettra toujours de suivre ses caprices et de

s'y accommoder. Mais c'est là une vérification et une recherche qu'il n'y aura besoin de faire que de loin en loin ; ce sera naturellement au personnel supérieur, à l'ingénieur de la mine qu'il appartiendra de le faire et de rectifier, quand besoin sera, la position de la manette sans qu'il y ait à faire intervenir le mécanicien du treuil. Celui-ci n'a à manœuvrer que le levier d'embrayage : ce faisant, il met en circuit et retire automatiquement une quantité de résistance qu'il n'a pas à régler lui-même ; donc, conformément au programme exposé, il n'a rien à toucher dans la partie électrique de l'installation.

Si, pour une cause quelconque, le fonctionnement du régulateur devient trop défectueux, il reste toujours la ressource de le supprimer soit définitivement, soit temporairement s'il y a une réparation possible, en demandant alors au rhéostat le maximum de ce qu'il peut donner, ou mieux absorber, et l'on se trouve, en somme, dans des conditions de travail qui eussent été parfaitement acceptables *a priori*.

La figure 4, planche 43, représente un diagramme de la disposition du rhéostat répondant au programme ci-dessus, tel qu'il se trouve installé à Faria, et montre ses liaisons avec les dynamos et les diverses touches du levier de manœuvre du treuil. Les bornes qui se correspondent sur le tableau, sur la réceptrice et sur le levier, sont marquées des mêmes numéros. Le levier est dans la position moyenne (arrêt du treuil) et l'on voit à l'inspection de la figure comment, la première section du rhéostat se trouvant intercalée dans la ligne (afin d'obvier aux inconvénients qui se produiraient si pour une cause quelconque le régulateur des tur-

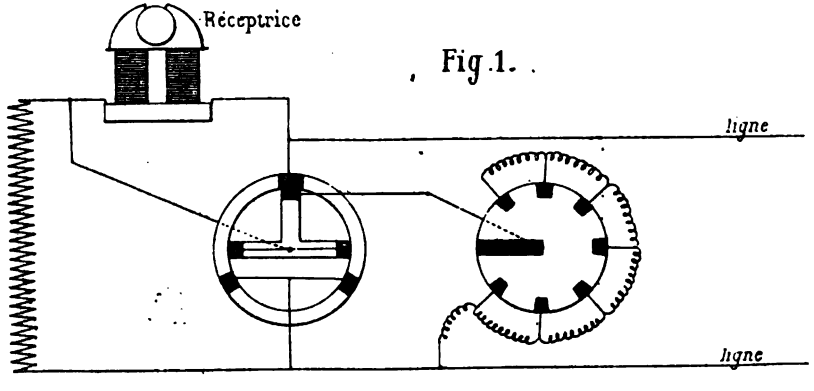


Fig. 1.

bines ne fonctionnait pas), il est possible, en manœuvrant la manette A, de mettre en dérivation une ou plusieurs des autres sections selon la quantité plus grande ou moindre de travail qu'il s'agit d'absorber. Le schéma ci-dessus, simplifié, rend compte de la façon dont se fait alors la circulation du courant.

Si on incline le levier de manœuvre soit à droite, soit à gauche, jusqu'à produire l'embrayage, les touches 9 et 10 de ce levier se séparent et toutes les sections du rhéostat se trouvent nécessairement mises hors circuit, sauf la première qui alors, au lieu d'être, comme dans le cas précédent, intercalée dans la ligne, est en dérivation.

Le schéma suivant montre comment les choses se passent alors.

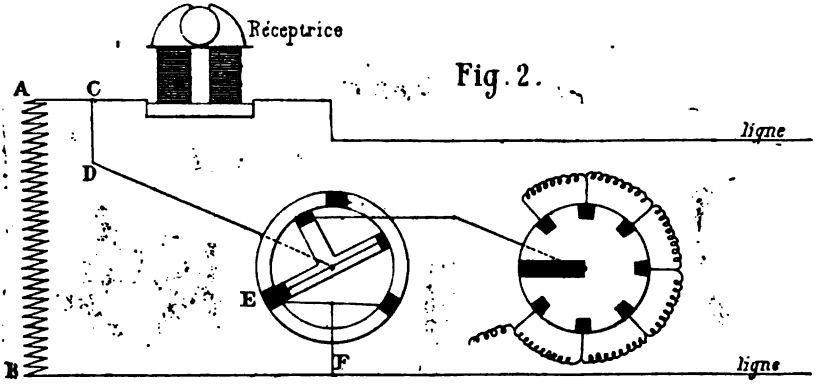


Fig. 2.

La résistance AB est telle, par rapport à celle de CDEF, qu'il n'y passe qu'une partie insignifiante du courant et que, par conséquent, son maintien en dérivation ne peut présenter aucun inconvénient.

A vrai dire, ce n'est pas à un régulateur proprement dit qu'il faudrait demander la meilleure solution du problème qui se pose dans une organisation comme celle-là. Si l'on désire pendant les arrêts du treuil diminuer le travail à demander aux moteurs et aux génératrices, soit pour réduire la fatigue ou l'échauffement des machines, soit pour économiser la source d'énergie dont on dispose, le véritable programme consisterait à déterminer d'abord quel est le travail minimum que l'on peut consentir pendant les arrêts tout en conservant sûrement la vitesse de régime, puis à s organiser pour ne marcher qu'aux deux états extrêmes. Il fau-

drait pour cela non pas un régulateur susceptible de trouver une position d'équilibre pour tous les états intermédiaires, mais un dispositif bloquant brutalement et très rapidement le vannage dans les positions correspondant aux débits maximum et minimum. Un appareil de ce genre paraît devoir être assez facilement réalisable ; l'étude même de l'installation que nous décrivons ici a suggéré un dispositif dont le principe a été indiqué dans les *Annales des Mines*, livraison de mai-juin 1884, et qui, même pour des vannages lourds comme ceux des grandes roues, répondrait vraisemblablement à ce désidératum. Il mettrait à profit les variations notables d'intensité qui se produisent lors des embrayages et débrayages et agirait, par conséquent, à l'une des extrémités de la ligne de transmission chaque fois qu'une manœuvre serait faite à l'autre extrémité, sans qu'il soit besoin pour cela d'aucun fil supplémentaire. Il n'y a là qu'une indication purement théorique, car les conditions dans lesquelles devait être faite l'installation de Faria ne permettaient pas d'y expérimenter des systèmes nouveaux et commandaient impérieusement de n'employer que des appareils d'un fonctionnement connu et assuré. Nous aurons à indiquer plus loin comment ont été établies les turbines et leurs régulateurs.

Un dernier détail au sujet du treuil. Il y a évidemment intérêt, un manque d'attention prolongé du mécanicien étant toujours possible, à disposer de moyens automatiques pour empêcher les bennes d'être conduites aux molettes. Il est bien tentant avec une installation électrique de faire couper le circuit par la benne dépassant une hauteur limite déterminée, le procédé serait à la fois simple et sûr ; il serait tout indiqué dans une installation où les arrêts seraient normalement obtenus par la mise hors circuit de la réceptrice. Pour légitime qu'il soit en lui-même, il se serait trouvé, évidemment, en contradiction flagrante avec l'esprit dans lequel avait été conçue toute l'organisation que nous décrivons. On préférera un système que la disposition du treuil rendait d'une application particulièrement facile et qui consiste à faire agir la benne, au moyen d'un levier et de chaînes de renvoi, sur l'appareil d'embrayage chaque fois qu'elle dépasse le point au-dessus duquel on ne veut pas la laisser monter.

Le croquis *(fig. 8, pl. 43)* indique assez clairement l'organisation de cet évite-molette pour rendre toute description superflue.

IV

Matériel d'épuisement.

Le service de l'épuisement se prête beaucoup plus facilement que celui de l'extraction à l'emploi de transmissions électriques, puisqu'il s'agit d'un travail essentiellement régulier et toujours de même sens.

On sait que l'appareil universellement employé dans les mines pour l'épuisement est la pompe foulante. Les pistons sont uniformément répartis le long d'une tige rigide et massive qui oscille dans le puits et dont l'extrémité supérieure vient s'attacher à un balancier muni d'un contrepoids tel que le travail à demander à la machine motrice reste le même pour la montée et pour la descente de la tige. On doit s'attacher à donner à l'ensemble une très grande masse, et on le fait travailler à très petite vitesse avec des pistons assez gros et une course assez longue, pour que le débit de chaque coup de piston suffise aux besoins. Il y a nécessairement deux points morts et un ensemble de conditions qui se prêtent aussi mal que possible à l'emploi de dynamos pour mettre tout l'attirail en mouvement.

Mais justement il nous semble qu'un des principaux avantages des transmissions électriques adaptées au service de l'épuisement dans un puits de mine doit être de faire disparaître tout ce matériel lourd, volumineux, encombrant, coûteux, difficile à installer, à surveiller et à réparer.

Il est évidemment légitime de conserver la pompe foulante : il y a un intérêt manifeste, en effet, à multiplier le moins possible le nombre des machines en service, à employer par conséquent celles qui permettent l'élévation d'un seul jet aux plus grandes hauteurs et qui, si un puits est trop profond pour qu'on veuille aller en une seule fois du fond au jour, exigeront du moins le plus petit nombre de répétitions intermédiaires. Mais on conçoit facilement l'avantage qu'il peut y avoir à transmettre à ces pompes successives l'énergie qui leur est nécessaire au moyen d'un simple câble conducteur, au lieu d'y employer l'appareil massif et encombrant que l'on sait.

Seulement, le changement dans le mode de transmission du travail entre le moteur et l'outil amènera nécessairement des mo-

difications, sinon dans le type, du moins dans les dispositions de détail des pompes à employer.

Il est bien clair que le piston actuel, énorme, marchant lentement, s'accommoderait mal aux allures d'une dynamo. Celles-ci demandent un travail aussi régulier que possible et, par conséquent, la suppression, ou tout au moins l'atténuation des points morts, ce qui conduira d'abord à employer plus d'un piston. Elles tournent très vite ; il y aura donc tout intérêt, pour éviter des transmissions de mouvement trop volumineuses, à mener les pistons à la vitesse la plus grande qu'on puisse admettre sans nuire à leur bon fonctionnement et, par conséquent, pour un même débit, à en diminuer le diamètre pour en augmenter le nombre. Rien de plus facile que de satisfaire à la fois à ces conditions nécessaires, puisqu'elles sont de même sens ; il suffira d'employer des pompes à plusieurs corps avec des pistons de petit diamètre et à marche rapide, soit, par exemple, trois ou six pistons montés sur des manivelles à 120°, soit encore deux ou quatre montés sur des manivelles à 90°.

On arrive, en un mot, à des pompes analogues à celles qui servent à refouler l'eau dans les accumulateurs hydrauliques, et cela n'a rien que de très naturel, puisqu'il s'agit, en réalité, de leur demander un travail tout à fait de même nature que celui des pompes d'accumulateurs, le refoulement se faisant sous des pressions très considérables. Il faudra nécessairement rechercher pour l'ensemble des dispositions occupant le moindre espace possible, afin qu'il soit facile de le loger dans de petites chambres creusées dans les parois du puits et n'exigeant pas un soutènement trop difficile ou trop dispendieux.

Dans le cas particulier qui nous occupe, on n'avait, au moment où l'installation dût être étudiée, aucune donnée positive sur la venue d'eau possible. Tout contribuait à faire croire qu'elle serait très faible : cela résultait de la connaissance des mines de la région, de l'examen des lieux, de la situation des affleurements et du puits par rapport aux terrains avoisinants, de la quantité d'eau insignifiante rencontrée pendant le début des travaux de creusement du puits, qui était à cette époque arrivé déjà à plus de moitié de la profondeur que l'on voulait atteindre. On estima qu'une force disponible de 5 chevaux serait vraisemblablement très suffisante, mais qu'il fallait cependant se donner des garanties pour le cas où les prévisions premières seraient dépassées, et construire en conséquence un appareil très élastique.

On adopta dans ces conditions une disposition présentée par M. Bréville et indiquée par les figures 9 et 10, planche 43.

La pompe se comprend aisément à l'inspection du dessin : elle se compose de quatre corps de pompe opposés deux à deux dans le prolongement l'un de l'autre et commandés par deux manivelles à 90°. L'eau est aspirée par une conduite unique qui se bifurque vers les quatre cylindres, et dans laquelle, par conséquent, le mouvement de montée est à peu près régulier et continu ; elle est refoulée dans une conduite montante qui part d'une cloche à air placée au centre du système.

Les pistons ont 120 *mm* de diamètre et 300 *mm* de course. L'arbre moteur reçoit à ses deux extrémités des plateaux pour l'attache des bielles et en son milieu deux roues dentées à chevron qui lui transmettent le mouvement d'un autre arbre placé immédiatement au-dessus de lui.

Cet arbre supérieur porte extérieurement à ses coussinets la poulie de commande correspondant à celle de la dynamo réceptrice et entre les coussinets deux pignons à chevron dont on peut mettre à volonté, l'un ou l'autre, en prise avec l'une des roues de l'arbre inférieur. Les diamètres des pignons et des roues sont établis de telle façon que, selon le pignon qui engrène, l'arbre des manivelles fait soit 18, soit 36 tours par minute.

La dynamo réceptrice est placée en arrière des pompes, sur un bâti en tôle solidement boulonné au bâti de la pompe. Il peut recevoir soit une, soit deux dynamos. Si l'on en emploie deux, elles se placent dans le prolongement l'une de l'autre, et les deux arbres sont manchonnés, la commande de la pompe continuant à se faire par une seule poulie au moyen d'une courroie sans fin en coton. Les deux dynamos sont donc reliées mécaniquement : les liaisons électriques sont établies de façon qu'elles se trouvent couplées en tension.

L'ensemble n'occupe que très peu de place : à peu près 4,15 *m* de longueur sur 2,20 *m* de large et 2 *m* de hauteur, et peut être placé dans une chambre réservée dans la paroi du puits.

Ainsi construite, la pompe peut utiliser soit 5, soit 10 chevaux ; selon les engrenages mis en service, chaque piston peut donner soit 18, soit 36 coups par minute : elle peut, par conséquent, en admettant un rendement de 80 0/0, épuiser à volonté jusqu'à 7 *l* par seconde, en demandant 5 chevaux si la profondeur est de 40 *m* et 10 chevaux si l'on passe a 80 *m*.

Un rhéostat intercalé dans le circuit spécial de l'épuisement

permet de bien régler la vitesse et facilite les manœuvres d'arrêt si on les fait au puits; mais, en général, on pourra les faire en agissant directement sur le moteur.

A supposer connus d'avance le débit total et la hauteur de refoulement que l'on veut accepter d'une reprise à la suivante, il est clair qu'une pompe construite comme celle-là se prêterait à assurer l'épuisement sans qu'il soit besoin de se réserver la possibité de la faire marcher à deux vitesses différentes, ni de la commander avec deux machines dynamos.

D'une part, on voit justement par là combien il a été facile, moyennant des modifications ou additions bien simples et peu coûteuses, de transformer un ensemble apte à un service bien défini en un appareil très élastique et susceptible d'être appliqué entre des limites fort étendues, et cela sans rien faire qui soit de nature à en rendre le fonctionnement moins satisfaisant.

D'autre part, des installations du genre de celle-là nous paraissent devoir offrir beaucoup plus de facilités, à tous les points de vue, que tout l'attirail encombrant des pompes d'épuisement classiques.

V

Moteurs.

Nous avons vu plus haut que l'on voulait disposer pour l'extraction, au début et tant qu'on n'emploierait qu'une seule réceptrice, d'une force de 10 chevaux sur l'arbre de cette réceptrice.

On admit *a priori* que le rendement entre le moteur et la dynamo réceptrice serait de 50 0/0, quoique les conditions générales de l'installation dussent permettre de compter sur un chiffre supérieur, mais afin d'être, à coup sûr, très au large.

Il fallait donc pour l'extraction un moteur de 20 chevaux, et nous avons expliqué déjà pourquoi l'on désirait que ce moteur fût une turbine munie d'un régulateur.

Pour l'épuisement, on comptait qu'une force disponible à l'arrivée de 5 chevaux serait suffisante; mais nous venons de voir que la pompe avait été établie de façon à pouvoir utiliser 10 chevaux. On devait nécessairement admettre le même chiffre de rendement de la transmission, et avoir, par conséquent, pour l'épuisement comme pour l'extraction, un moteur susceptible de

produire 20 chevaux, quitte à ne lui en demander que moitié. Il n'y avait pour cela qu'à prendre le même ; l'existence du régulateur rendant facile de ne lui faire donner qu'une partie de sa puissance. Cela n'entraînerait même pas un surcroît de dépense appréciable, la différence de prix entre une turbine de 20 chevaux et une de 10 étant peu sensible et se trouvant encore atténuée à raison de tous les frais à supporter par ce matériel jusqu'à son arrivée sur place. On conçoit par ailleurs, sans qu'il soit besoin d'insister, le très grand avantage qu'il y a, dans les conditions où se trouve une exploitation comme celle qui nous occupe, à avoir un matériel aussi uniforme que possible. On décida, en conséquence, d'avoir exactement le même moteur pour l'extraction et pour l'épuisement, le type ainsi choisi devenant une unité destinée à être répétée à autant d'exemplaires que pourraient l'exiger les besoins au fur et à mesure du développement normal des travaux.

Cette turbine, proposée par M. Bréville, est représentée planche 43, figures 11 à 13. Elle est à axe horizontal; la roue motrice a 0,70 *m* de diamètre extérieur et 0,20 *m* d'épaisseur à la couronne; l'eau arrivant par le centre est distribuée aux deux extrémités du diamètre horizontal par un contre-aubage fixe ayant de chaque côté six ouvertures devant lesquelles peut tourner le vannage équilibré qui règle le débit. Il faut noter, pour la compréhension de cette figure, que la coupe de la roue doit être supposée faite pour la moitié supérieure par un plan vertical passant par l'axe, et pour la moitié inférieure par un plan horizontal passant également par l'axe, puis rabattu sur le premier.

Avec une hauteur de chute de 12*m* comptée du niveau de l'eau dans le bief d'amont jusqu'à l'axe de la roue et un débit de 180 *l* par seconde, cette turbine fournit 20 chevaux en tournant à raison de 225 tours par minute, vitesse qui donne toutes facilités pour la commande des dynamos.

On voit facilement sur le dessin comment le régulateur, au moyen d'un système de trois roues de friction, peut, soit laisser au repos, soit entraîner par l'intermédiaire d'un pignon, dans un sens ou dans l'autre, une grande roue dentée placée à l'arrière et montée folle sur son axe.

Le levier de mise en marche, solidaire du vannage, s'appuie contre la face extérieure de la jante de cette roue : par sa forme il fait ressort de telle façon qu'en le saisissant par la poignée et en le tirant à soi avec une certaine force on le détache facilement

de la roue ; on peut alors le faire tourner sans entrainer celle-ci et faire toutes les manœuvres d'arrêt ou de mise en marche. Si, au contraire, on l'abandonne à lui-même, il s'appuie contre la jante de la roue : le frottement est insuffisant pour établir à lui seul la solidarité complète des deux organes, mais la circonférence d'appui est garnie d'une série de petits boutons qui font une saillie de 3 à 4 *mm* et qui, venant à rencontrer le levier, l'entraînent dans le sens où marche la roue sous l'action du régulateur.

Aux deux positions qui correspondent à l'ouverture et à la fermeture complète du distributeur, des butées limitent la course du levier afin que le vannage ne puisse pas, en continuant, à raison de son inertie, à se mouvoir dans le sens où il marche à ce moment, dépasser ces positions limites et, par exemple, recommencer à ouvrir la distribution au moment même où il achève de la fermer et alors que le régulateur agit encore pour produire un ralentissement.

Ces deux butoirs n'arrêtent que le levier : il faut, en effet, que la roue ne soit pas nécessairement arrêtée en même temps, afin qu'il ne se produise pas à l'encontre de l'action du régulateur, et avant que l'ensemble de l'appareil lui ait obéi, des résistances de nature à briser ou tout au moins à fausser quelque pièce, comme cela ne manquerait pas d'arriver si les saillies de la jante venaient encore se mettre en prise quand le levier est buté. Ce résultat est obtenu de la façon suivante :

Quand il est ramené à la position correspondant à la fermeture complète du vannage, le levier n'arrive à fond de course qu'en montant d'abord contre une partie du butoir, disposée en plan incliné, qui l'écarte assez, dans le sens de l'axe de la roue pour que les boutons en saillie puissent passer. Quand un bouton a passé ainsi, le levier, faisant ressort, retombe le long du plan incliné et vient se rappliquer contre la jante pour être soulevé à nouveau par le bouton suivant si la roue continue dans le même sens, ou saisi et entraîné si la roue revient en sens inverse. On ne peut l'amener rigoureusement à fond de course qu'à la main ; il s'appuie alors sur une partie plane du butoir qui suit le plan incliné et il est assez franchement écarté pour que la roue soit absolument libre dans les deux sens et pour qu'il faille l'intervention du mécanicien si on veut redonner l'eau.

Pour le mouvement inverse, dans le sens qui correspond à l'ouverture croissante du vannage, c'est la face interne du levier,

dans la région où il presse contre la roue, qui est taillée en plan incliné, et quand les boutons viennent la rencontrer, si le levier est buté, ils le soulèvent et passent; s'il est dans une position intermédiaire, ils l'entraînent quand ils l'attaquent doucement ou bien, quand l'action est trop violente, ils passent successivement en lui donnant chacun une petite impulsion et sans provoquer une ouverture trop brusque. A fond de course, le levier vient s'appliquer simplement contre un butoir en saillie qui n'est pas disposé de façon à l'écarter, de telle sorte que, quoi qu'il arrive, il reste toujours en prise sur la roue.

En fait, tout le système est très sensible, comme on l'avait demandé au constructeur, et agit rapidement; on pourrait même lui reprocher de prendre aisément une trop gaande vitesse, au point que l'inertie lui fait facilement dépasser les positions où il s'arrêterait s'il y était amené plus lentement. Cet inconvénient apparaît très nettement quand le vannage s'arrête un instant dans une position correspondant à la fermeture incomplète d'une ouverture du contre-aubage et telle qu'il se produise des succions violentes. Celles-ci lui communiquent alors, soit dans un sens, soit dans l'autre, des impulsions énergiques auxquelles il obéit trop facilement et qui se traduisent par des mouvements d'une très grande amplitude. C'est le défaut inhérent au système même et s'exagérant à raison de la sensibilité de l'appareil.

La roue, l'aubage fixe et le distributeur sont enfermés dans une enveloppe en tôle facilement démontable, qui laisse passer d'un côté le tuyau d'amenée d'eau dont la disposition est clairement indiquée sur le dessin, et de l'autre côté l'arbre destiné à recevoir les poulies. Cet arbre est porté par deux paliers faisant corps avec le bâti général de la machine; la roue motrice est en dehors de ces paliers, mais l'extrémité de l'arbre est en réalité soutenue comme le montre la coupe figure **11**, de sorte qu'en fait cette roue n'est pas en porte-à-faux.

On voit par les cotes qui sont inscrites sur les figures combien dans son ensemble la turbine tient peu de place et doit être facile à transporter et à monter.

La commande des dynamos génératrices est faite au moyen de courroies de coton. Cette manière de faire ne pouvait présenter aucun inconvénient pour le service de l'épuisement; elle en aurait eu de très graves pour le service de l'extraction si la chute d'une courroie avait pu entraîner la chute des bennes dans le puits; mais ce danger se trouvait complètement éliminé par suite de l'exis-

tence sur le treuil du système de freins qui a été décrit plus haut. Il n'y avait donc aucune raison de ne pas appliquer dans les deux cas le même système, et on arrive ainsi, pour l'ensemble de l'installation, du côté des machines génératrices, aux dispositions indiquées planche 43, figures 1 à 3.

La turbine A est affectée au service de l'épuisement. Elle reçoit l'eau par un tuyau capable de débiter très largement plus que le volume nécessaire à la production des 20 chevaux qu'on peut avoir à lui demander. Elle commande la dynamo E; s'il fallait doubler la puissance disponible aux pompes, une seconde génératrice semblable serait placée en E', commandée par une seconde poulie montée sur le même arbre.

Cette seconde dynamo, si elle n'est pas utile pour la pompe, peut être remplacée par une machine destinée à assurer l'éclairage du bâtiment des turbines et du moulin qui n'en est pas très éloigné. En tous cas, même au cas où toute la puissance disponible de la turbine A serait absorbée par les besoins de l'épuisement, si l'on veut organiser l'éclairage électrique du moulin, il sera facile de monter une turbine et une dynamo spéciales en faisant en M, à l'un des bouts de la culotte qui termine le tuyau d'alimentation, la prise d'eau nécessaire.

Le travail de l'épuisement est assez régulier pour que cette organisation ne présente aucun inconvénient. Il n'en eût pas été de même du côté du service de l'extraction : là, les arrêts et les mises en marche perpétuels du treuil ont nécessairement leur répercussion sur l'écoulement de l'eau dans le tuyau d'amenée et, par conséquent, dans une certaine mesure, sur les appareils alimentés par ce tuyau, d'où auraient pu résulter des variations fatigantes dans l'intensité de la lumière.

La turbine B est affectée au service de l'extraction qui utilise avec la génératrice G la totalité du travail qu'elle peut fournir. Quand il y aura lieu de doubler la puissance disponible sur le treuil, il faudra mettre en place une seconde turbine et une seconde génératrice; on les placera symétriquement aux premières par rapport à la ligne $\alpha\beta$, le tuyau d'alimentation correspondant ayant été dès le début installé avec un diamètre suffisant pour fournir le débit correspondant à 40 chevaux. Les arbres des deux turbines seront parallèles, il sera donc facile d'y placer deux poulies supplémentaires de même diamètre recevant une courroie de façon à établir une liaison mécanique entre les deux dynamos qui seront par ailleurs couplées en tension.

A l'exception des culottes qui sont en fonte, tous les tuyaux sont en tôle. Ils montent en arrière du bâtiment des turbines, suivant le talus des terres, et sont très légèrement enterrés : assez pour être soustraits à de trop grandes variations de température (par 20° de latitude et à plus de 1 100 *m* d'altitude, il y a entre le jour et la nuit d'énormes écarts), assez peu pour que la surveillance en soit facile. En avant de chaque tuyau des grilles convenables empêchent l'entrée des feuilles, branches, pierres, etc., etc., qui pourraient être entraînées par le courant (cette précaution est d'autant plus nécessaire que les roues des turbines sont entièrement en fonte) et une vanne permet d'arrêter l'eau. Cette vanne se ferme pour les arrêts prolongés, pour les arrêts momentanés le levier de manœuvre des turbines suffit.

Turbines et dynamos sont montées, sans fondations spéciales, sur de grands châssis en bois, couchés et enterrés, qui établissent entre les diverses parties de l'installation une solidarité suffisante. Les dynamos sont placées de façon à pouvoir être déplacées légèrement pour la tension des courrois et le tout est obtenu avec les quelques pièces de bois indiquées sur la figure 1, en prenant simplement la précaution de maçonner en briques et ciment le canal de fuite, afin de ne pas détremper par trop le terrain, mais sans autres maçonneries.

VI

Dynamos, lignes, etc.

Les dynamos employées sont toutes des machines Gramme, type supérieur, à excitation en série.

Les génératrices et les réceptrices sont identiques, on a vu plus haut pourquoi. Afin d'éviter toute erreur et toute difficulté dans le montage, on a décidé que toutes tourneraient toujours dans le même sens, le sens des aiguilles d'une montre pour qui les regarde par le côté du collecteur, et les précautions à prendre selon qu'elles sont employées à l'un ou l'autre usage sont des plus simples.

A cet effet, les conducteurs aboutissant aux balais sont constitués par des câbles très flexibles terminés par une douille à vis que l'on attache selon le cas, soit à des bornes marquées « génératrice », soit à des bornes marquées « réceptrice ». Il n'y a pas à

modifier le sens de montage des balais puisque le sens de rotation ne change pas, mais uniquement le calage des porte-balais, et cette opération, comme la première, se fait sans aucune hésitation, des plaques portant les mêmes mots « génératrice » et « réceptrice » se trouvant fixées sur les pièces polaires en face de la position moyenne où doivent se trouver les contacts sur le collecteur selon le mode de fonctionnement de la dynamo.

Enfin des numéros qui se correspondent sont inscrits, d'une part, sur les bornes du grand rhéostat de l'extraction, d'autre part, sur les bornes du levier de manœuvre du treuil, de telle sorte que là encore il ne peut y avoir aucune hésitation dans l'établissement des connexions.

Voici les données principales de ces machines :

	Extraction	Épuisement
Machines Gramme type supérieur n°	7	6
Force disponible sur l'arbre de la réceptrice.	10 ch	5 ch
Différences de potentiel aux bornes de la génératrice.	330	285
Ampères dans le circuit.	33	20
Nombre de tours par minute :		
Génératrices.	900	1 100
Réceptrices	650	800
Résistance des conducteurs (3 600 *m* aller et retour).	1,8 ohms	1,8 ohms
Rendement prévu entre les arbres des génératrices et réceptrices. . . .	55 à 58 0/0	52 à 54 0/0
Poids de chaque dynamo	1 300 *kg*	500 *kg*

Toutes ces dynamos ont été établies d'une façon très large, si bien que l'on pourrait, tout en restant dans des limites de prudence parfaitement admissibles, faire absorber aux génératrices, par exemple, un bon tiers en plus du travail qu'elles prendront en marche normale. Il y a là une bonne garantie contre les à-coups qui pourraient se produire accidentellement.

Dans les bâtiments, au départ et à l'arrivée, les lignes sont faites avec des câbles à isolement moyen. Sur tout le reste du parcours, elles sont constituées par des câbles nus de 36 fils de 1 mm^2 de section chacun. Il n'y passe donc normalement pas même un ampère par millimètre carré : on retrouve là encore la préoccu-

pation d'extrême prudence à laquelle on a obéi dans l'étude de toute cette installation.

A partir de l'entrée du puits le courant est conduit à la réceptrice des pompes par des câbles à isolement renforcé.

Le long de la ligne les câbles sont attachés sur des isolateurs en porcelaine fixés sur poteaux distants de 18 à 20 *m*. Ces poteaux sont doubles, écartés l'un de l'autre d'environ 1,50 *m*, et reliés entre eux par des traverses. Chacun supporte deux câbles.

Dans le pays où tout ce matériel est mis en service, les orages durant la saison des pluies sont fréquents et parfois d'une extrême violence. Il a paru nécessaire, dans ces conditions, de munir les lignes de parafoudres d'autant plus qu'elles passent par des points élevés. Ce sont des parafoudres à pointe montés avec un commutateur qui permet à volonté :

1° De marcher en transmission avec parafoudres à la terre;

2° De marcher en supprimant les parafoudres (pour le cas, par exemple, ou pour cause d'humidité de l'atmosphère il se produisait des dérivations à la terre);

3° Ou enfin de mettre la ligne à la terre et les machines hors circuit, le service étant alors suspendu.

On a de la sorte toute facilité de se garantir contre une surprise au cas où un orage viendrait à éclater très brusquement et de préserver les machines d'une façon absolue si la violence de l'orage est telle que l'on croie prudent d'interrompre le service en les mettant hors circuit.

La figure 4, planche 43, donne le schéma complet de l'ensemble de l'installation.

Au point de départ, dans le bâtiment des turbines, toutes les lignes partent d'un même tableau (à gauche sur la figure 4) qui porte: un voltmètre commun aux deux circuits, puis, pour chaque ligne, un commutateur coupe-circuit, un ampère-mètre et un plomb fusible.

Elles passent de là par les parafoudres qui occupent la partie supérieure du tableau pour aboutir aux autres parafoudres installés dans le bâtiment de la machine d'extraction.

A partir de là, la ligne de l'épuisement va à la réceptrice en traversant un rhéostat de réglage : celle de l'extraction aboutit au grand tableau dont le fonctionnement a été indiqué plus haut. Ce tableau, outre le rhéostat dont l'usage est connu, porte un commutateur coupe-circuit, un ampère-mètre et un volt-mètre.

L'ensemble devait nécessairement être complété par l'adjonction d'une ligne téléphonique.

Par suite de circonstances locales, le bureau de la direction se trouve à peu près à mi-chemin entre la mine et le bâtiment des génératrices. Le téléphone devait nécessairement y passer, d'où la nécessité d'avoir trois postes. On a de plus voulu profiter du téléphone, non seulement pour faciliter les communications, mais pour rendre dans une certaine mesure plus efficace la surveillance.

Dans ce but, l'organisation du téléphone a été faite de telle façon :

1° Que chacun des deux postes extrêmes puisse appeler le bureau central et causer avec lui, et réciproquement ;

2° Que l'un quelconque des postes extrêmes puisse appeler l'autre directement et causer avec lui sans avoir à passer par l'intermédiaire du poste central ;

3° Que l'un des postes extrêmes ne soit pas prévenu quand le bureau central parle avec l'autre et n'entende pas la conversation ;

4° Mais que les postes extrêmes ne puissent pas s'appeler directement et parler sans que le bureau central en soit prévenu par une sonnerie spéciale et puisse, s'il lui convient, écouter la conversation qui passe.

Sur l'avis du constructeur qui l'a fournie, cette installation téléphonique a été faite avec un seul fil et trois plaques de terre, une pour chaque poste. Son fonctionnement, suffisant au début, est vite devenu mauvais, sans doute à cause de l'asséchement produit dans les terrains avoisinant le puits, et, par conséquent, tout autour d'une des plaques de terre, par le percement d'une galerie d'épuisement. Il n'a pas suffi, pour le rétablir d'une façon sûre, de relier cette plaque aux câbles métalliques qui servent à guider les bennes et plongent dans l'eau à leur extrémité inférieure, mais il est redevenu parfaitement satisfaisant après addition d'un fil de retour.

VII

Il n'y a que peu de chose à dire du fonctionnement du matériel que nous venons de décrire, les travaux en étant encore à la période de début.

La machine d'extraction a été mise en service dans le courant du mois d'août de l'année dernière ; dès le lendemain des essais, elle était livrée aux mains d'un ouvrier du pays, promu à la dignité de mécanicien, ouvrier choisi naturellement, mais choisi pour les marques qu'il avait pu donner de son intelligence et non pour l'habitude qu'il ne pouvait pas avoir des machines. Dès le premier jour, sans qu'on lui eût fait de recommandations spéciales, il montait 10 à 12 bennes à l'heure.

A l'autre extrémité de la ligne, le moteur et la génératrice étaient sous la surveillance d'un ouvrier européen.

Après quelques minutes à peine de tâtonnements, on avait trouvé pour la manette du rhéostat une position telle que, lors des débrayages, le régulateur de la turbine venait presque instantanément se fixer dans une position intermédiaire correspondant à un courant de 17 à 18 ampères, l'intensité du courant pendant la montée des bennes étant de 33 à 34 ampères.

Dans le fait, les appareils générateurs demandent une certaine surveillance à cause des entraînements violents que peut subir le vannage sous l'action des succions énergiques qui se produisent pour certaines de ses positions. Cela peut arriver surtout s'il y a au treuil une série de manœuvres anormales. Cette surveillance est simple, on y peut facilement dresser un jeune ouvrier dont la présence est, de toutes façons, nécessaire, puisque aussi bien on ne pourrait pas abandonner complètement les machines à elles-mêmes après avoir donné l'eau. L'inconvénient que nous signalons-là n'a donc pas une grande importance ; il est inhérent du reste à la nature du moteur et du régulateur ; s'il devenait gênant au point de créer quelque difficulté, il serait bien facile de le supprimer en renonçant à laisser en fonctions le régulateur et en utilisant en entier la faculté d'absorption du rhéostat.

Mais, en somme, depuis le mois d'août 1890 jusqu'à maintenant, sauf une interruption de deux mois causée par un accident survenu au canal, les appareils d'extraction ont fonctionné sans donner lieu à la moindre difficulté.

Pour l'épuisement, ainsi que nous avons eu occasion de le signaler plus haut, les événements obligèrent à renoncer provisoirement au programme primitivement adopté. On pensait n'avoir qu'une venue d'eau insignifiante et, par le fait, on put creuser le puits jusqu'à plus de 38 *m* de profondeur sans être gêné par l'eau. On ne disposait cependant pour l'épuisement, à cette période de

début, que d'un manège où l'on attelait tantôt deux mulets, tantôt deux bœufs, et qui mettait en marche une pompe élévatoire de petite dimension; encore ne travaillait-elle que par intermittences. Il en alla de même, et cela ne faisait que confirmer les prévisions premières, pendant l'exécution de la plus grande partie du travers-bancs qui, du fond du puits, se dirigeait vers le filon, mais à quelques mètres à peine du gite, on rencontra une veine de quartz qui donna tout à coup une venue d'eau considérable. Force fut de reconnaître, après une tentative prolongée, qu'il serait impossible de la vaincre avec ce que le manège pouvait donner de force motrice.

A cette époque le canal n'était pas terminé, ni près de l'être, pour pouvoir fournir la force qui manquait. L'eût-il été, on n'aurait pas pu employer la pompe que nous avons décrite puisqu'elle aurait dû être placée au fond du puits et qu'il était devenu impossible d'y atteindre. La venue d'eau était telle, en effet, que la pompe élévatoire dont on disposait devait être manifestement impuissante à pouvoir utiliser le travail qu'il aurait fallu lui fournir pour dénoyer. Étant donné le temps qui eût été nécessaire pour en commander et en recevoir une autre, on préfera pour aller plus vite modifier le programme des travaux.

On pouvait évidemment, en diminuant la hauteur d'épuisement, remettre en marche efficacement le manège ; c'est ce qu'on fit et on commença à 26 *m* de profondeur un nouveau travers-bancs en même temps que, par précaution, on attaquait à ce même niveau un boyau d'écoulement à petite section devant avoir environ 150 *m* de longueur.

Ces travaux étaient en cours d'exécution quand le canal fut prêt. On en profita immédiatement pour supprimer le manège et faire marcher la pompe élévatoire au moyen de la dynamo qui aurait dû servir de réceptrice à la grande pompe. Il suffit pour cela d'une transmission de mouvement comportant deux arbres, l'un portant une grande poulie qui reçoit la courroie de commande de la dynamo et un pignon, l'autre portant une grande roue dentée qui engrène avec ce pignon et une manivelle conduisant une grande bielle en bois qui entraîne le balancier de la pompe.

On sait qu'avec des pompes de ce système, pour peu que le contrepoids soit convenablement réglé, le travail est à peu près le même pendant la montée et pendant la descente des tiges. Il n'y en a pas moins deux points morts bien marqués; le régime est

donc médiocre pour la commande par une dynamo, mais les variations de courant qui en peuvent résulter n'étaient, dans l'espèce, pas à craindre, parce que la pompe, à cause de ses dimensions, ne pouvait en tous cas absorber qu'un travail beaucoup moindre que celui dont la dynamo était susceptible.

Et, en effet, tout l'ensemble fonctionna d'une façon tout à fait régulière du 28 mai au 24 août 1889. A l'approche du filon seulement, à la rencontre de la même veine de quartz qu'au niveau—38, la venue de l'eau augmenta de nouveau au point qu'il fallut arrêter, la pompe marchant à son extrême limite de vitesse étant insuffisante. Quelques jours après, du reste, la galerie d'écoulement arrivait au puits et permettait de reprendre les travaux.

La marche des dynamos dans les conditions qui viennent d'être dites donna toute satisfaction ; elle provoqua en outre quelques remarques intéressantes que voici :

En marche normale, comme il y a deux points morts, il y a nécessairement pour une révolution complète de la manivelle deux minimums de travail correspondant à ces deux points et deux maximums correspondant au milieu des courses ascendante et descendante, c'est-à-dire aux moments où les chemins parcourus dans l'unité de temps sont les plus grands. Ces variations devaient être, et étaient en effet, accusées par les instruments de mesure du courant, qui permettaient de constater que les deux maximums, ni non plus les deux minimums n'étaient égaux, si parfaitement que fût équilibré l'ensemble de l'appareil, c'est-à-dire en supposant le contrepoids de la pompe réglé très rigoureusement et l'effet de la bielle et de la manivelle annulé par l'addition d'un poids convenable et convenablement placé sur la grande roue dentée de la transmission.

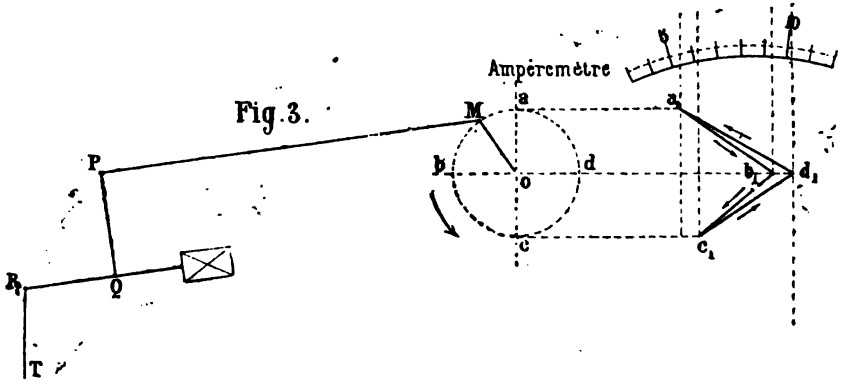
Le plus petit minimum et le plus petit maximum correspondaient à la descente du piston, le plus grand minimum et le plus grand maximum à la montée, et, prenant pour exemple les indications de l'ampère-mètre, plus faciles à suivre, ce qui se passait peut être représenté schématiquement sur la figure ci-dessous.

O M représente la manivelle; P R Q S le balancier de la pompe avec son contrepoids R T la tige. Le point M décrivant la circonférence *a b c d* dans le sens de la flèche, l'aiguille de l'ampère-mètre occupe sur le cadran les positions correspondant au chemin a_1 b_1 c_1 pendant la descente et c_1 d_1 a_1 pendant la remonte.

Il est assez facile de comprendre que cela doit être ainsi, car les résistances passives ne sont pas les mêmes pour la marche dans

les deux sens : les cuirs du piston frottent beaucoup plus à la montée, quand ils sont pressés par la colonne d'eau à soulever,

Fig. 3.



qu'à la descente, et par la même raison le démarrage dans le sens de bas en haut est plus dur que dans l'autre sens.

Mais les deux oscillations de l'aiguille de l'ampère-mètre étant nécessairement inégales, on s'aperçut vite que leur inégalité s'accentuait dès que le contrepoids de la pompe n'était plus bien réglé (son équilibre se détruit assez facilement, à raison de la façon dont fonctionne le piston, de l'usure des cuirs, etc...) On trouvait donc, dans l'observation de l'ampère-mètre, un moyen de vérification très simple et toujours prêt ; on y trouvait, de plus, un moyen d'évaluer avec une très grande précision, l'effet des corrections qu'il pouvait y avoir lieu de faire, de peser, en un mot, à chaque instant et très exactement ce contrepoids.

Quant à l'importance absolue de ces variations, nous l'indiquerons en reproduisant une ou deux observations faites en marche régulière, aussi exactement que le permettait la difficulté des lectures. Il faut songer, en effet, que, à six coups de piston par minute, chacun ne dure que dix secondes pendant lesquelles il y a à lire deux maximums et deux minimums, et on a marché à Faria, vers la fin, jusqu'à 11,5 coups par minute.

DATE ET HEURES	VOLTS LUS		VOLTS	AMPÈRES		
	MINIM.	MAXIM.	MOYENNE VRAIE	MAXIM.	MINIM.	MOYENNE
26 juin, 6 h. 30 matin.	31 31,5	38,5 39,5	140,5	6 6,5	11,2 12,5	9,05
— 5 h. soir. . .	42 43	47 49	181,5	7 7,5	10,1 12,2	9,2

	WATTS AUX BORNES de la GÉNÉRATRICE	TOURS PAR MINUTE			COUPS DE PISTON par MINUTE
		TURBINE	GÉNÉRATRICE	RÉCEPTRICE	
26 juin, 6 h. 30 matin.	1 271	171	755	565	7,4
5 h. soir. . .	1 669	210	935	576	7,5

Si, au lieu de considérer les moyennes, on prend les intensités et la force électromotrice maximum et minimum, on voit que, pour la première des deux observations ci-dessus par exemple, le travail électrique a varié, pendant la durée d'un coup de piston, de 744 à 1,965 walts. A ces variations de travail, si considérables, correspondent des variations de vitesse de très faible durée inappréciables sur la turbine, difficiles à mesurer sur la génératrice avec un compte-tours (on n'avait pas de tachymètre), beaucoup plus visibles sur la réceptrice où elles s'accusent, en outre, par dès modifications dans le léger bruit produit par le frottement du balai sur le collecteur, si bien que la régularité des variations du son résultant pouvait servir de guide dans l'appréciation des conditions de la marche.

Ajoutons que l'observation faite un jour à la génératrice, et téléphonée au puits, d'un soubresaut qui se produisait à l'ampèremètre pendant l'oscillation correspondant à la montée du piston, fit découvrir un faible grippement du piston qui, sans cela, eût passé inaperçu jusqu'au moment où il se serait notablement aggravé.

On voit, par ces exemples, avec quelle facilité et quelle rigueur il est possible de suivre les conditions de marche d'appareils lancés à des vitesses qui, si bien surveillées, cessent d'être inquiétantes, et comment on trouve dans ces installations à la fois un moyen d'action puissant et commode et un moyen de contrôle facile et précis.

On voit, en outre, avec quelle souplesse ces machines se prêtent à satisfaire à des besoins variés et imprévus.

Malgré les si grandes variations de travail que nous venons d'indiquer les dynamos se sont comportées d'une façon absolument satisfaisante : on fut obligé d'y renoncer, parce que à une vitesse dépassant douze coups de piston par minute, la pompe avait un fonctionnement inadmissible ; mais si l'on avait eu une pompe de plus grand diamètre, on serait arrivé évidemment à dénoyer tout à fait le puits et à installer la pompe de fond qui aurait permis de poursuivre les travaux suivant le programme primitif. Il est vrai que si ces grandes variations de travail n'ont pas eu une influence mauvaise, cela tient à ce qu'on était très au-dessous de la capacité mécanique des dynamos et qu'il n'en aurait plus été de même avec une pompe élévatoire plus grosse et capable d'absorber environ 5 chevaux; mais rien n'eût empêché alors d'employer provisoirement à l'épuisement la transmission de l'extraction avec ses réceptrices de 10 chevaux, et l'on se serait retrouvé dans des conditions parfaitement acceptables sans qu'il en eût rien coûté.

Si l'on ne crut pas devoir faire une tentative dans ce sens, c'est d'abord à cause de la perte de temps qu'il eût fallu consentir pour faire venir cette pompe plus forte. C'est ensuite que devant cette venue d'eau anormale, si difficile à expliquer, même après coup, on devait craindre d'autres surprises du même genre, et la prudence voulait qu'on cherchât tout d'abord à se renseigner sur ce que serait le régime des eaux dans la mine. On résolut dans ce but d'exécuter un travail qu'*a priori* on avait pensé pouvoir éviter : les travaux faits comme il a été dit ci-dessus livraient à l'exploitation les 26 premiers mètres de profondeur au-dessous de la bouche du puits ; on mit en percement une seconde galerie, dont la longueur devait atteindre 340 *m*, située au niveau — 50 (le 0 étant à l'entrée du puits), qui, une fois faite, devait à la fois donner un second étage de 24 *m* et procurer des données positives sur la venue d'eau.

Les résultats que l'on se procurera ainsi permettront de déterminer avec quelque précision la profondeur à laquelle on pourra descendre au-dessous du niveau — 50 pour mettre en exploitation un troisième étage à l'épuisement duquel on emploiera la pompe que nous avons décrite, et que les circonstances que l'on connaît maintenant ont empêché d'utiliser selon les prévisions premières.

Une dernière observation. Nous avons eu occasion d'indiquer en commençant que le canal de Faria, pour une longueur totale de 6 *km*, avait coûté environ 330 000 *f*. Nous avons ajouté que pour amener, suivant un autre tracé, le canal jusqu'au puits, il eût fallu lui donner un développement probable de 16 *km*. Tout le matériel électrique ayant coûté une trentaine de mille francs d'achat (ajoutons-en autant pour le transport jusqu'à Faria), l'avantage et l'économie sont surabondamment évidents.

Il n'en est pas moins vrai que le chiffre de 330 000 *f* a quelque chose de formidable. Il est de nature à faire singulièrement réfléchir ceux qui répètent volontiers que la force motrice hydraulique ne coûte rien, si surtout l'on songe à la gravité des conséquences d'un accident survenant au canal et suspendant toute la vie de l'exploitation. Il devient dès lors tout naturel de se demander, devant l'importance de la somme qui représente l'entretien d'un ouvrage de ce genre et son amortissement, si l'emploi de machines à vapeur ne serait pas véritablement préférable.

A ne considérer que la dépense de force motrice nécessaire pour les services dont nous nous sommes occupés dans cette note, la réponse semble devoir être affirmative. Il n'y a été question que de 15 chevaux effectivement utilisés, devant être, quelque jour, portés à 30, plus tard, évidemment, à davantage ; mais dans longtemps et sans que le chiffre doive jamais devenir bien gros.

Mais il y a dans une mine comme celle-là une autre source de dépense de force motrice, c'est le moulin. Il est bien clair que si l'on fait un canal pour le moulin, il n'en coûte pas sensiblement plus de lui faire donner la force nécessaire pour les autres services et la question se pose ainsi : Ne serait-il pas préférable de demander à des machines à vapeur toute la force motrice nécessaire, y compris celle qu'exigera le moulin, et en admettant du reste qu'on se procurera facilement la petite quantité d'eau indispensable pour le lavage?

Le filon de Faria, dans les parties connues, a 9 *m* d'épaisseur ; il est vraisemblable que les parties plus riches et plus pauvres seront mélangées au point qu'il sera nécessaire de traiter sinon tout au moins la plus grande partie du minerai produit, et avec des masses de minerai comme celles-là, on se trouve en face d'une exploitation pour laquelle il est légitime de prévoir un jour une installation d'au moins 60 pilons (il y en a eu 120 à Morro-Velto). 60 pilons, à supposer que ce seront des pilons californiens

demandent 75 chevaux : avec l'extraction, l'épuisement, les services accessoires, c'est donc un minimum très bas de 125 chevaux qu'il faut prévoir.

Admettons qu'on ait des machines ne consommant que 2 *kg* de charbon par cheval et par heure, notons qu'un moulin travaille 24 heures par jour et 350 jours par an (mais n'en comptons pour l'ensemble que 300), nous avons vu plus haut que la houille pourrait peut-être arriver à Faria entre 60 et 70 *f* la tonne (elle en vaut 50 à Rio-de-Janeiro), mettons 60, et nous arriverons pour la consommation de houille au chiffre de 180 000 *f* par an.

On voit que, malgré tous les ennuis que peut donner un canal en mauvais terrain, malgré les inconvénients que l'on peut reprocher aux moteurs hydrauliques, il est telles circonstances où il n'y a pas à songer à s'en passer, et quand il faut s'en servir, il nous semble que cet exemple montre bien quelles facilités peut apporter l'emploi de transmissions électriques dans l'organisation d'une grande exploitation.

CHRONIQUE

N° 137.

SOMMAIRE. — Le chemin de fer transsibérien *(suite et fin)*. — Les chaudières tubulaires et le tirage forcé *(suite)*. — Le laboratoire de M. Raoul Pictet. — Trafic des grands canaux. — La traversée de l'Atlantique. — Préservation des câbles métalliques. — Le plus gros marteau-pilon du monde.

Le chemin de fer transsibérien *(suite et fin)*. — Il en est actuellement du projet transsibérien Annenkoff comme du Transcaspien à son début.

Cette entreprise hardie fut baptisée par ses antagonistes *le Chemin de fer académique*, tant on doutait que l'exécution en fût possible.

Même les plus chauds partisans du hardi constructeur ne partageaient pas son optimisme lorsqu'il proclamait que ce chemin de fer stratégique paierait dans l'espace de trois ans les frais d'exploitation et dans six années l'intérêt du capital. Le Transcaspien est aujourd'hui terminé jusqu'à Samarcande ; c'est une des lignes de l'empire qui ont été le plus promptement construites et le meilleur marché.

Chaque année le trafic a doublé sur le parcours et, la quatrième année, non seulement les frais d'exploitation étaient payés, mais l'excédent des recettes de cette voie ferrée tracée dans le sable donnait un intérêt de 4 1/2 0/0 du capital employé à sa construction.

Ce résultat exceptionnel est dû au génie d'un seul homme, du général Michel Annenkoff, à la fois le créateur du projet, l'Ingénieur en chef et l'administrateur de la ligne.

Ses moyens d'action : une puissance de travail extraordinaire, une confiance entière en son étoile et le don de fanatiser tous ceux qui travaillent sous ses ordres. Ses auxiliaires : l'état-major de ses deux bataillons de chemins de fer, qui actuellement forment les cadres de l'administration après avoir dirigé les travaux des 27 000 indigènes qui furent employés à la construction de la ligne.

Ainsi que nous l'avons dit, la construction du Transsibérien, suivant les projets du Ministre des Travaux publics de l'empire, exigerait trente-deux ans et un capital de 480 millions de roubles. Le général Annenkoff propose de construire la même ligne en quatre ans au maximum et pour 300 millions. Il s'est formé, sous les auspices du général, un groupe de constructeurs russes et français connus, qui propose au gouvernement de se charger de la construction du Transsibérien à un prix convenu à l'avance et calculé à tant par verste. Ce groupe, disposant de capitaux considérables, est prêt à accepter comme paiement des obligations du chemin de fer transsibérien ou à émettre un emprunt étranger

pour toute la somme nécessaire à la construction, soit 300 millions de roubles, à des conditions favorables à l'État. Il s'engagerait à procéder à la construction immédiate du tronçon Tcheliaba-Irkoutsk, à raison de 40 000 roubles par verste. En outre, il est disposé à faire à son compte les études entre Irkoutsk et Wladiwostok, à condition que le tronçon lui soit également concédé.

La concession serait d'une durée de six ans; les travaux pourraient être terminés en trois ou quatre années. Pour arriver à ce résultat étonnant de promptitude et de bon marché, le général Annenkoff propose la formation de bataillons de chemins de fer, semblables à ceux qu'il a employés pour la construction du chemin de fer transcaspien, composés de recrues prises dans le centre de l'empire et représentant tous les métiers (serruriers, mécaniciens, maçons, charpentiers, menuisiers, etc.). Il demande le droit de pouvoir disposer du concours de l'armée, ainsi que des exilés et des condamnés aux travaux forcés se trouvant en Sibérie. Il se propose de diriger sur la Sibérie des colonnes d'ouvriers de l'intérieur de l'empire, entre autres des terrassiers du gouvernement de Smolensk, des charretiers du gouvernement de Kiew et des ouvriers du gouvernement de Grodno.

La déportation en Sibérie est une mesure qui date du XVI^e^ siècle et par laquelle on a voulu poursuivre un double but: débarrasser l'empire d'éléments nuisibles ou dangereux, et peupler les déserts de la Sibérie. Après avoir fini leur temps de prison, les détenus reçoivent un lot de terres et sont considérés comme des colons sibériens. Mais, n'étant pas habitués aux travaux des champs et ne pouvant pas se procurer les instruments nécessaires, ils abandonnent le plus souvent leur domicile pour se livrer au vagabondage. Dans l'immensité du territoire sibérien, ils parviennent à se libérer de toute surveillance administrative.

L'augmentation de population prévue ne se produit pas. Le nombre des femmes déportées est minime et les indigènes n'aiment pas à donner leurs filles à des déportés, même réhabilités. Cette population flottante devient un danger permanent pour la sécurité du pays.

D'après les données statistiques des quatre dernières années, le nombre annuel des déportés s'élève en moyenne à 16 200 âmes, y compris les familles et les enfants. Le nombre total des déportés ne doit pas être inférieur à 260 000, dont au moins 110 000 vagabonds.

Le général Annenkoff voudrait utiliser pour la construction du chemin de fer transsibérien ces forces jusqu'à présent sans emploi. Les condamnés aux travaux forcés et les exilés « par voie administrative » seraient contraints de travailler à la ligne et fourniraient à la Compagnie environ 15 000 ouvriers. Puis les vagabonds, heureux de trouver de l'ouvrage, donneraient un contingent que l'on peut estimer à 40 000 hommes. Il serait accordé des adoucissements de peines ou des récompenses à ceux des déportés qui accompliraient consciencieusement leur tâche. Après la fin des travaux, ils recevraient un lot de terres à proximité de la ligne. On donnerait également des lots semblables aux émigrés et colons qui voudraient prendre part aux travaux de construction. Les ouvriers seraient engagés pour un terme d'au moins deux ans. La moitié de leur salaire leur serait payée im-

médiatement, l'autre serait versée au fonds de réserve qui serait remis aux intéressés à l'expiration de leur contrat et leur permettrait de s'établir avec leurs familles dans de bonnes conditions.

L'œuvre que veut prendre en mains le général Annenkoff, et que seul il peut mener à bien par son indomptable énergie, est donc, en même temps qu'une grande et belle entreprise industrielle, une œuvre humaine, dans la plus large acception du mot. Le Transsibérien doit nous rapprocher des régions du Pacifique, activer le commerce de l'Europe avec l'extrême Orient, ouvrir à la civilisation un immense pays, aujourd'hui presque désert ; mais il nous intéresse encore à un plus haut titre : la construction de cette ligne pourra ramener sur la voie du travail honnête et de la réhabilitation des milliers d'hommes écrasés, aujourd'hui sous la fatalité d'une faute passée et d'un avenir sans espoir.

Les chaudières tubulaires et le tirage forcé *(suite)*. — Il peut être utile d'appeler l'attention sur un système d'entretoises qui convient au cas où on a plusieurs chaudières accolées les unes aux autres et où, par conséquent, les entretoises ne sont pas accessibles de l'extérieur. C'est une modification de la disposition employée par M. Park, du North London Ry. Des trous sont pratiqués dans les deux bouts de l'entretoise ; celle-ci est vissée en place et avec un mandrin on renfle les bouts jusqu'à ce qu'elle tienne dans les deux tôles aussi fortement que si les têtes étaient rivées, comme on le fait d'ordinaire.

Dans les locomotives, si les deux têtes sont accessibles, on opère par les deux côtés. Mais, pour le cas qui nous occupe, on opère autrement.

Sur une entretoise de 25 *mm*, par exemple, on perce un trou de 12 *mm* dans la plus grande partie de la longueur et un de 9 *mm* dans le reste. On visse l'entretoise par l'intérieur et avec un mandrin passé du dedans on renfle le bout extérieur, puis avec un mandrin plus gros le bout intérieur. On peut ainsi remplacer une entretoise en opérant de dedans le foyer.

M. W. H. Maw a proposé d'employer un mandrin renflé à l'extrémité au lieu d'un mandrin conique; ce serait en effet préférable, parce que le trou pourrait être élargi parallèlement et que l'outil serait plus facile à retirer, l'opération achevée. Une entretoise de 25 *mm* avec un trou de 12 *mm* a la même résistance qu'une entretoise pleine de 20 *mm*. On a fait des expériences qui ont donné ce résultat. Avec des entretoises creuses, écartées de 4 pouces, soit 0 101, deux tôles assemblées en forme de lame d'eau de chaudière ont cédé sous une pression hydraulique de 117 *kg* par centimètre carré.

La distance entre les tubes doit être réglée par la condition d'assurer l'accès de l'eau aux surfaces de chauffe et le dégagement facile de la vapeur, surtout dans le voisinage de la plaque tubulaire du foyer, de manière que le calorique soit absorbé à mesure qu'il arrive à la surface extérieure.

On ne devrait pas donner un écartement inférieur à 21 *mm* et mieux à 25 *mm* pour des tubes de 50 *mm*, lorsqu'on brûle de 400 à 500 *kg* de combustible par mètre carré de surface de grille et par heure. Cet écartement suffit pour assurer une bonne circulation d'eau s'il n'y a pas

dans la chaudière quelque disposition spéciale qui ralentisse celle-ci. Ainsi on a construit des chaudières marines du type locomotive avec des lames d'eau en dessous du foyer; les résultats n'ont pas été bons. Il se produisait autour du foyer une circulation extrêmement active qui entrainait l'eau de la partie inférieure du corps cylindrique et l'empêchait de remonter contre la plaque tubulaire en rafraichissant celle-ci, comme cela doit avoir lieu normalement.

La longueur des tubes doit être proportionnée à leur diamètre pour assurer une élasticité convenable. Il faut, pour cette raison, éviter de donner un fort diamètre aux tubes lorsqu'ils sont courts. Il est intéressant de citer à ce sujet une expérience faite par l'auteur pour constater ce qui se produit pendant la mise en pression d'une chaudière et aussi pendant la marche. Dans trois tubes pris à des hauteurs différentes, on a introduit des barres métalliques fixées aux tubes à l'extrémité du côté du foyer et au milieu. La position de l'autre extrémité de la barre, par rapport au tube, devait permettre de reconnaitre si les tubes restent droits, ou bien de combien ils se cintrent par la dilatation. Dès que le feu fut allumé, on constata que les tubes des rangées supérieures étaient plus chauds que les autres. L'eau s'échauffait à son niveau et le haut et le bas de la chaudière restaient froids. L'échauffement des tubes supérieurs les dilatait et, comme ils ne pouvaient obéir à cette dilatation, ils se cintraient, comme le faisait voir le déplacement de l'extrémité de la barre. Au bout de dix minutes environ, la barre du tube de la seconde rangée commença à se déplacer et, peu de temps après, la barre du troisième tube en fit autant. Les trois barres continuèrent ensuite leur mouvement; mais, lorsque la pression atteignit 1 *kg* par centimètre carré, les plaques tubulaires commencèrent à s'écarter et les tubes à se redresser; à mesure que le pression augmenta, ceux-ci devinrent complètement droits comme avant l'allumage. Cette expérience prouve combien il est nécessaire de ménager une certaine élasticité dans la disposition d'un faisceau tubulaire.

Les efforts qu'une chaudière subit pendant sa mise en pression sont très grands et quelquefois ils sont plus intenses que ceux que détermine la pression de la vapeur pendant le travail. Pour échauffer la chaudière d'une manière aussi régulière que possible pendant la mise en pression, et réduire les dilatations inégales, on remplit quelquefois le générateur complètement d'eau et, à mesure que la température s'élève, on fait écouler le trop-plein par les robinets de vidange. On peut supposer qu'avec des précautions de ce genre on éviterait bien des ennuis avec les chaudières.

Au refroidissement les efforts sont moindres et ils s'exercent d'une autre manière qu'à l'allumage. En principe, il faut que les changements de température se produisent aussi lentement que possible. Avec des variations brusques d'intensité du feu, on est à peu près sûr de voir des fuites se produire autour des tubes : c'est un fait bien connu des chauffeurs de locomotives.

Si on emploie des plaques tubulaires en fer ou en acier, il est indispensable de les recuire avec le plus grand soin. On doit effectuer ce

recuit après que la plaque a été emboutie, et il serait bon de le faire de nouveau après que les trous des tubes ont été percés.

Il est bon de dire quelques mots de la pression de l'air dans le tirage forcé. Dans le passage de l'air, depuis la chambre de chauffe jusqu'à la cheminée, la plus grande partie de la résistance paraît correspondre à la traversée des tubes. Si donc on impose au constructeur la valeur de la pression à donner à l'air, le seul moyen qu'il ait pour y satisfaire, sans augmenter le poids des appareils, est d'augmenter le diamètre des tubes et de réduire leur longueur ; on donne alors au faisceau tubulaire une rigidité qui est fâcheuse, comme on l'a vu plus haut. Le fait qu'une chaudière donnée éprouve des fuites par les tubes avec une certaine pression d'air prouve tout simplement que cette pression est trop élevée pour cette chaudière, et rien de plus, car on sait que, dans le monde entier, il y a des chaudières de locomotives qui fonctionnent avec un tirage correspondant à une dépression de 75 à 200 *mm* d'eau dans la boite à fumée. On peut citer à l'appui de ce fait la déclaration suivante émanant d'un ingénieur du matériel d'une grande ligne anglaise : « Nos expériences nous conduisent à admettre qu'une dépression de 20 *cm* d'eau dans la boite à fumée n'est nullement exceptionnelle, on la réalise couramment lorsque la machine fonctionne à pleine puissance à la remonte d'une rampe ou de niveau avec un train un peu lourd. Si on ajoute à cette dépression la pression de l'air à l'entrée du cendrier, due à la vitesse du train, laquelle pression peut être estimée à 5 *cm* d'eau, on arrive à un total de 25 *cm* d'eau pour produire le tirage. Il semble qu'avec des exemples de ce genre il n'y a aucune raison pour imposer au constructeur des limites pour la pression à donner à l'air. Il vaut beaucoup mieux lui laisser toute liberté à cet égard, pourvu qu'il assume la responsabilité de la chaudière qu'il est appelé à fournir. Imposer une faible pression d'air oblige en quelque sorte le constructeur à livrer une mauvaise chaudière, parce qu'elle le conduit à rendre sa chaudière rigide. Il peut être désirable de réduire la température inférieure du foyer ; ceci peut s'obtenir par une modération de la combustion, et, lorsqu'on sait quelle pression d'air est nécessaire pour brûler un poids donné de combustible par mètre carré de grille, on peut régler la pression de l'air par cette considération. C'est cette limite qui est la véritable, et elle doit être réglée pour chaque cas particulier et non fixée d'une manière générale.

Il est à peine besoin de signaler la nécessité d'empêcher la présence des matières grasses à l'intérieur des chaudières ; c'est un point bien connu aujourd'hui.

On doit mettre beaucoup de précaution dans la mise en service des chaudières neuves. On chauffe graduellement un foyer en maçonnerie, sans quoi il se fend et se met en morceaux. On doit procéder d'une manière analogue avec une chaudière, pour que les diverses parties prennent leur position relative entre elles sans effort brusque. Beaucoup d'essais ont donné de mauvais résultats, parce qu'on s'est trop pressé de faire travailler les chaudières à leur puissance maxima. Les chaudières neuves donnent souvent de grands ennuis par des fuites aux tubes dès le commencement des essais. Cela n'a aucune importance si le fait est dû

seulement à des changements de forme temporaires ; ces fuites disparaissent alors d'elles-mêmes. Souvent les tubes fuient au refroidissement ; si les fuites sont modérées, cela n'a aucune importance et le mieux à faire est de ne rien faire. Cela vaut mieux que de remandriner les tubes en fatiguant inutilement les plaques tubulaires.

Ces quelques remarques devraient être complétées par d'autres que le temps empêche l'auteur de passer en revue comme il le voudrait, telles que la position des prises d'air, l'emplacement et la disposition de la porte du foyer, la conduite du feu. On doit, dans ces divers points, avoir égard à la nécessité de réduire les variations de la température dans le foyer et de prévenir l'accès de l'air froid à la plaque tubulaire.

Il est utile d'examiner avec quelque attention ce qui se passe lorsqu'on mandrine un tube dans une plaque tubulaire. Le tube augmente de diamètre et se trouve pressé contre la paroi du trou de la plaque qui lui-même est un peu agrandi par la pression exercée dans le mandrinage. Non seulement les deux pièces sont en contact, mais elles sont encore pressées l'une contre l'autre par leur propre tension, c'est-à-dire que, si le tube devenait libre, il se dilaterait un peu, tandis que le diamètre du trou se réduirait un peu. L'expérience directe démontre que les choses se passent ainsi. Si on mandrine dans un trou de plaque tubulaire un tube de 60 *mm* de diamètre et qu'on coupe ensuite la plaque en deux pour faire sortir le tube, on trouve, avec un mesurage précis, une différence appréciable entre le diamètre du tube et celui du trou, et c'est précisément cette différence de diamètre qui fait tenir l'assemblage. L'élasticité cumulée des deux parties peut être évaluée à 1 dixième de millimètre en nombre rond pour un tube d'acier assemblé dans une plaque de même métal, et à 2 1/2 dixièmes de millimètre pour un tube de laiton avec une plaque de cuivre. Dans ces conditions, on comprend qu'un tube puisse rester étanche si rien ne se produit d'anormal tel qu'une contraction brusque amenée par un changement de température, laquelle contraction s'exerce plus rapidement sur le tube que sur la plaque et peut atteindre un taux supérieur à l'élasticité cumulée des deux pièces. C'est ce qui se produit lorsqu'avec une combustion un peu vive, on ouvre la porte du foyer, il se précipite une masse d'air froid dans les tubes ; ceux-ci étant de faible épaisseur subissent l'effet de contraction avant que le refroidissement se soit fait sentir sur la plaque. Si la contraction est supérieure à l'élasticité de l'assemblage, les tubes fuiront. On peut parer dans une certaine mesure à cette différence par la réduction de l'épaisseur de la plaque tubulaire. Cette question mérite d'arrêter un instant l'attention. En tout cas, tout ce que l'on peut faire pour augmenter le serrage élastique des tubes dans les trous des plaques augmentera la garantie qu'on peut avoir contre les fuites par contraction. Un bon moyen est de chasser à force les tubes dans la plaque, au lieu de les y introduire à peu près librement en comptant sur le mandrinage pour les serrer. Certains Ingénieurs de chemins de fer recommandent cette pratique.

(A suivre.)

Le laboratoire de M. Raoul Pictet. — Le correspondant de

Berlin du *Journal de Genève* lui transmet le compte rendu suivant d'une séance que notre collègue, M. le professeur Raoul Pictet, a donnée dans son laboratoire de Berlin aux membres de la Société de Physique pour leur exposer le résultat de ses récentes recherches scientifiques.

M. R. Pictet, qui avait fait, en 1877, des expériences en vue d'obtenir des températures assez basses pour amener la liquéfaction des gaz permanents, avait déjà reconnu alors l'extrême importance des froids intenses au point de vue scientifique.

L'éminent professeur a fondé maintenant, à Berlin, un laboratoire ayant pour objet essentiel l'étude des phénomènes chimiques et physiques qui se produisent lorsque la température des corps expérimentés peut être maintenue indéfiniment à une température inférieure à 120° au-dessous de zéro et que la pression qu'ils supportent peut être portée à 1 000 atmosphères.

On sait que les grands froids sont obtenus par la vaporisation de liquides volatils, et que ces froids sont d'autant plus intenses que le liquide est plus volatil. Pour réaliser les températures excessivement basses dont il a besoin, M. R. Pictet recourt à une combinaison ingénieuse qui consiste à produire d'abord un premier abaissement de température à l'aide d'un liquide volatil relativement facile à préparer et de se servir du froid ainsi obtenu pour liquéfier un gaz donnant un liquide plus volatil que le premier. On utilisera alors la nouvelle chute de température obtenue pour l'évaporation de ce dernier liquide.

Voici, d'une façon succincte, la disposition générale des appareils, disposition qui rappelle celle qu'avait imaginée M. R. Pictet pour ses mémorables expériences, faites il y a treize ans.

Dans une grande salle, longue de 25 *m* et large de 10 *m*, se trouvent quatre pompes ou compresseurs à vapeur pouvant marcher chacune séparément. Deux de ces compresseurs permettent d'obtenir la première chute de température. Dans un grand tube horizontal de 0,18 *m* de diamètre et de 3 *m* de longueur, renfermé dans une caisse remplie de coton, on introduit un liquide très volatil, mélange d'acide sulfureux et d'acide carbonique. Les vapeurs qui se forment spontanément par la transformation de ce liquide en gaz sont aspirées par le premier compresseur et refoulées par le second dans un serpentin noyé dans de l'eau de puits, où elles se condensent.

Le liquide volatil formé se rassemble dans un réservoir et, par un robinet de réglage, on peut faire retourner ce liquide dans le long tube dont il vient, pour y subir une nouvelle vaporisation.

On réalise ainsi une circulation continue du mélange d'acide sulfureux et d'acide carbonique passant alternativement de l'état liquide à l'état gazeux et *vice versa*. C'est dans le grand tube horizontal que s'effectue la première de ces transformations, c'est-à-dire la vaporisation, de sorte qu'il se refroidit toujours davantage ; on obtient ainsi le premier abaissement de température.

Les deux compresseurs marchant ensemble permettent de faire le vide à quelques millimètres, ce qui entraîne, *ipso facto*, une température de — 80° à 82°, comme température limite de ce premier cycle.

Cette température peut être maintenue constamment, tant que les deux

compresseurs marchent. Or, les machines à vapeur sont construites de manière à pouvoir marcher plusieurs mois sans arrêt.

Le second cycle permet de parvenir à une température plus basse encore ; il est obtenu au moyen du protoxyde d'azote. Ce gaz, fabriqué très purement par la décomposition de l'azotate d'ammoniaque, est emmagasiné dans un grand gazomètre à huile.

Les deux autres compresseurs l'aspirent, puis le compriment dans un tube très épais et résistant, noyé complètement dans le grand tube horizontal refroidi à — 80° par le jeu des premiers compresseurs.

Sous l'influence combinée de la pression pouvant atteindre 12 atmosphères et de la basse température, on liquéfie aisément les vapeurs du protoxyde d'azote. Une fois liquide, ce corps est introduit dans la chemise d'un cylindre à double enveloppe. Le liquide pénètre dans le cylindre à une très basse température, sensiblement égale à celle du premier cycle, puis s'évapore à son tour en abaissant encore plus sa température. Lorsque la chemise du cylindre est pleine, on fait le vide sur le liquide et le protoxyde d'azote se solidifie et donne une température de — 130°.

Ce second cycle peut être maintenu constamment en fonctionnement tant que le premier cycle fonctionne lui-même. Grâce à cette disposition, il devient possible de placer un corps dans le centre du deuxième cycle et de le refroidir ainsi à — 130°.

Pour liquéfier l'air atmosphérique, on comprime à 200 atmosphères de l'air sec dans un tube long de 3 *m* et plongé tout entier dans le protoxyde d'azote solide maintenu à — 130° ; la pression s'abaisse spontanément à 70 atmosphères et l'air liquide remplit le tube refroidi. En ouvrant l'extrémité du tube, l'air s'échappe et on le voit sortir avec une superbe couleur bleue, semblable à celle du ciel sans nuages. La température de l'air liquide s'abaisse aussitôt, par le fait de sa vaporisation, à — 200°.

Pour avoir une quantité d'air sous pression permettant de faire rapidement les expériences avec l'air liquide, on a installé trois grands réservoirs d'acier extrêmement résistants ; ils ont 7 *m* de longueur, 750 *mm* de diamètre et peuvent résister à 300 atmosphères de pression. Ces réservoirs sans un seul rivet ont été fabriqués spécialement par la maison Berninghaus de Duisburg d'un seul bloc d'acier et sont peut-être les seuls modèles de ce genre existant aujourd'hui.

Nous passons sous silence une foule de détails relatifs à la mesure des pressions et des températures et à la manœuvre de tous ces appareils. Il suffira d'indiquer que cet appareil de physique expérimentale, le plus considérable qui existe à ce jour, possède plus de 200 robinets de tous genres absolument étanches et que les canalisations métalliques qui relient entre elles les différentes parties, font ressembler le laboratoire à une immense toile d'araignée.

Un des premiers travaux que M. R. Pictet ait entrepris dans son laboratoire, à l'instigation de M. le professeur Dr Liebreich, a été la purification absolue du chloroforme en le faisant cristalliser à 100° au-dessous de zéro. Le chloroforme, qui est presque toujours impur, provoque souvent des accidents dans les anesthésies, accidents dont certainement une

partie sont dus aux impuretés qu'il contient. Avec le procédé de M. R. Pictet, on pourra donner aux cliniques et aux hôpitaux un chloroforme irréprochable et chimiquement pur.

M. R. Pictet nous a montré les cristaux de mercure obtenus par la congélation de ce métal par rayonnement dans l'espace froid du premier cycle. Le mercure se congèle en magnifiques fougères arborescentes d'un éclat incomparable.

M. R. Pictet compte étudier prochainement les lois de la dilatation, de la conductibilité et de l'électricité des métaux à basse température, l'influence des grands froids sur les réactions chimiques et sur l'électrolyse, etc. Le champ des investigations à faire dans ce domaine serait assez vaste pour occuper bien des vies d'hommes.

Trafic des grands canaux. — On a déjà signalé à plusieurs reprises l'importance extraordinaire du trafic du canal de Sault-Sainte-Marie à la sortie du lac Supérieur. Voici quelques chiffres qui permettent de l'apprécier. En 1890 le trafic du canal de Suez a été de 3 389 navires représentant 6 890 000 *t* contre 3 425 navires et 6 783 000 *t* pour 1889. Le canal de Sault-Sainte-Marie en 1889 pendant les 234 jours où il a été ouvert à la navigation, a donné passage à 9 576 navires représentant 7 221 000 *t* et en 1890, pendant 228 jours, il a passé 10 557 navires avec un tonnage collectif de 8 454 400 *t*, soit un trafic de 22 0/0 supérieur à celui du canal de Suez pendant l'année correspondante tout entière.

La traversée de l'Atlantique. — La Compagnie Cunard vient de commander à un chantier de la Clyde pour le service transatlantique entre Liverpool et New-York, deux steamers de 12 000 *t* qui coûteront 10 millions de francs chacun et qui seront plus grands et devront être plus rapides que tous ceux qui sont actuellement à flot; en effet, la vitesse garantie est de 22 nœuds et la durée de la traversée sera réduite à 5 jours et 8 heures. Bien des gens pensaient que les résultats obtenus en dernier lieu avec les récents paquebots des lignes Inman et White Star laissaient peu à désirer et qu'on pouvait se contenter de mettre six jours et quelques heures pour traverser l'Atlantique, mais la concurrence ne désarme pas et on veut aller toujours plus vite. Il n'est pas sans intérêt à ce sujet de jeter un coup d'œil en arrière et de considérer les diverses étapes franchies successivement.

Il y a trente ans que le *Scotia*, le dernier bateau à roues de la Compagnie Cunard, effectua pour la première fois la traversée en huit jours entre New-York et Queenstown; auparavant on était successivement descendu de douze à dix et neuf jours et on considéra ce résultat comme très beau. En 1867, le premier *City of Paris*, paquebot à hélice de la Compagnie Inman, dépassa le *Scotia* en vitesse comme il le dépassait en grandeur, mais il fut battu lui-même en 1869 par le *City of Berlin*.

En 1870, l'*Oceanic*, le premier paquebot de la Compagnie White Star, réalisa un nouveau progrès en vitesse et fut suivi par les navires semblables *Britannic* et *Germanic*. En 1879 fut accompli un nouveau progrès avec l'*Arizona* de la ligne Guion lequel, dans son premier voyage, abaissa encore notablement la durée de la traversée.

La Compagnie Cunard fit alors construire la *Servia* de 7 000 *tx*

et la Compagnie Inman le *City of Rome* de 8 450 *tx*. Ces navires furent suivis rapidement par *l'Alaska* en 1882, lequel les battit tous deux et fut pendant quelque temps le plus rapide des *levriers de l'Océan*, ayant abaissé la durée de la traversée à six jours et vingt heures. Il dut céder ce titre à l'apparition, en 1885, de l'*Umbria* et de l'*Étruria* qui tinrent à leur tour le premier rang jusqu'en 1889 où le second *City of Paris* obtint la palme dans son second voyage (1). Ce navire, son jumeau, le *City of New-York* et les deux paquebots de la White Star, le *Teutonic* et le *Majestic* ont actuellement une vitesse supérieure à celle d'aucun paquebot de la flotte Cunard. C'est pour cela que celle-ci cherche à reprendre son ancienne supériorité et à réaliser des résultats de vitesse non encore atteints jusqu'ici.

On peut se faire une idée de l'importance qu'ont acquise les relations entre l'Europe et les États-Unis par le fait qu'il n'y a pas actuellement moins de douze compagnies faisant un service régulier et hebdomadaire, ou à peu près, de voyageurs entre le nord de l'Europe et les États-Unis et employant collectivement à ce service 80 à 90 navires.

Ces Compagnies sont par ordre d'ancienneté : la Compagnie Cunard établie en 1840, la ligne Inman en 1850, la Compagnie Hambourgeoise-Americaine en 1855, l'Anchor line 1856, le Lloyd de l'Allemagne du Nord, de Brême, 1856, la Compagnie Générale Transatlantique du Havre 1862, la ligne Guion 1864, la White Star line 1870, la Compagnie néerlandaise 1872, la State line (actuellement en liquidation) 1872, la Red Star line, d'Anvers, 1873 et la ligne danoise Thingvalla 1879.

Il faudrait ajouter encore à cette énumération d'autres lignes faisant également le service des voyageurs, mais dont les départs sont moins fréquents, telles que la Wilson line et la National line de Londres, la Baltic line de Stettin, l'Union line de Hambourg, les lignes Anchor, Fabre et Florio-Rubattino des ports de la Méditerranée, la ligne de Bordeaux, etc., sans compter un certain nombre de lignes affectées uniquement au transport des marchandises.

Préservation des câbles métalliques. — Il y a diverses méthodes pour la préservation des câbles métalliques contre l'oxydation. Les suivantes employées en Allemagne et indiquées par l'*Iron* paraissent peu connues dans notre pays. Un de ces procédés consiste à faire bouillir un mélange de graphite pulvérisé et de suif et à appliquer ce mélange lorsqu'il a pris la consistance du beurre sur le câble au moyen d'une brosse ou mieux à faire passer le câble dans un vase en forme de corne rempli de ce mélange. Il est bon de répéter l'opération toutes les quatre semaines environ. Ce traitement préserve les câbles de la rouille et empêche leur usure amenée par leur mise en contact avec des corps durs. Cette graisse facilite en outre le déplacement des fils les uns par rapport aux autres, car elle pénètre dans les moindres interstices, et elle augmente ainsi la flexibilité des câbles.

Les câbles en fer ne peuvent s'empiler comme les cordes en chanvre, on doit les rouler à terre en cercles d'aussi grand diamètre que possible.

(1) Les plus courtes traversées effectuées jusqu'ici paraissent être une de celles du *Teutonic*, cinq jours dix-neuf heures et cinq minutes, et une de celles du *City of Paris*, cinq jours, dix-neuf heures, dix-huit minutes.

On peut encore se servir pour leur préservation du procédé suivant : on mélange de l'huile de lin avec du goudron végétal et on l'applique sur le câble, on obtient ainsi une couche protectrice très efficace. Les câbles immergés dans l'eau doivent être recouverts d'un enduit formé par le mélange de 35 *l* de chaux éteinte avec 50 à 60 de goudron végétal ou minéral, ce mélange doit être bouilli et appliqué à chaud.

Les câbles galvanisés ne peuvent être employés pour les transmissions ; au bout de quelques heures de service, la couche de zinc a entièrement disparu et les fils de fer se rouillent rapidement.

On doit, dans les transmissions par câbles, avoir le plus grand soin des poulies, les gorges doivent être tenues propres et les matières dont on les garnit, bois, cuir, caoutchouc ou métal doux doivent être de la meilleure qualité et posées avec les plus grandes précautions pour éviter l'usure rapide des câbles et accroitre l'adhérence de ceux-ci. Les câbles en fils d'acier doivent être préférés aux câbles en fer si la question de la légèreté et de la plus grande résistance doivent être prises en considération.

Le plus gros marteau-pilon du monde. — On installe aux forges de Bethlehem aux États-Unis, pour la fabrication des plaques de blindage, un marteau-pilon qui, d'après les renseignements donnés par les journaux américains, dépassera, comme poids et dimensions, les plus puissants appareils de ce genre construits jusqu'ici. La chabotte pèse 1 400 *t*, les bâtis 475 *t*, le marteau 125 *t*, et le tout 2 000 *t*. La hauteur totale est de 27 *m* et la course du marteau, 5 490. On fait observer que le poids de 125 *t* représente celui d'un régiment de 1 700 hommes avec armes et bagages.

COMPTES RENDUS

ANNALES DES MINES

6e livraison de 1890.

Revue de **l'état actuel de la construction des machines,** par Ed. Sauvage, ingénieur des mines, professeur du cours de machines à l'Ecole nationale supérieure des mines.

Nous avons signalé dans les comptes rendus de Décembre 1890, p. 892, la première partie de ce remarquable travail parue dans la 3e livraison de 1890 des *Annales des Mines*. Cette seconde partie traite de la production de la vapeur et contient tout ce qui concerne les divers types de chaudières, leur construction, leur résistance, les épreuves, les matériaux employés, les accidents, etc.

Notes sur l'**industrie de l'or et du platine dans l'Oural,** par M. Laurent, ingénieur des mines.

Ces notes recueillies au cours d'un voyage récent dans le gouvernement de Perm, ont trait aux points suivants : structure des gisements aurifères et platinifères, conditions économiques de l'exploitation de ces gisements, procédés d'exploitation, appareils employés.

La Russie a produit en moyenne dans les dernières années 33 000 *kg* d'or, sur lesquels la Sibérie orientale a fourni 22 000 ; elle a fourni en 1886 4 300 *kg* de platine provenant exclusivement du gouvernement de Perm. La Russie occupe le troisième rang parmi les pays producteurs d'or ; elle seule renferme des gisements platinifères exploités.

Note relative à des **essais faits aux mines de Liévin sur des explosifs de sûreté,** par M. A. Simon, ingénieur principal aux mines de Liévin.

Ces essais ont pour bases les principes posés par la commission française du grisou. Ces principes, établis par les recherches de MM. Mallard et Le Chatelier, sont que les mélanges d'air et de grisou présentent un retard à l'inflammation d'autant plus important que la température de la source calorifique est plus voisine de 650 degrés et que, pour qu'un explosif puisse être de sûreté, il est nécessaire que sa température de détonation soit inférieure à 2 200°.

Les essais ont été faits avec des explosifs de trois catégories :

1° Des mélanges de binitrobenzine et d'azotate d'ammoniaque ;

2° Des mélanges de coton octonitrique et d'azotate d'ammoniaque ;

3° Des mélanges de nitro-glycérine ou de dynamite et d'azotate d'ammoniaque, dits *grisoutines*.

On s'est servi pour ces essais d'une masse cylindrique d'acier percée

d'un trou vertical de 550 *mm* de profondeur et de 45 *mm* de diamètre dans lequel on place la charge. Le cylindre est enterré dans le sol ; on place au-dessus un cylindre vertical en tôle de 1,20 *m* de diamètre et de 1,47 *m* de hauteur formant la capacité destinée à recevoir les mélanges explosifs. Sa partie supérieure est fermée par une toile paraffinée que l'on renouvelle après chaque essai. On amène par un conduit spécial le gaz d'éclairage destiné à concourir à la formation du mélange explosif après qu'il a traversé un compteur. On fait détoner l'explosif avec une étincelle électrique. Si on voit sortir la flamme de la partie supérieure, on estime que le gaz a été allumé.

On a également opéré en introduisant dans l'appareil des poussières de charbon qu'on soulevait à l'aide d'un agitateur quelques secondes avant l'explosion.

Les conclusions de ces expériences sont que les explosifs de sûreté qui ont été essayés sont tous capables d'enflammer les mélanges d'air et de gaz d'éclairage; ils allument aussi, mais plus difficilement, les mélanges d'air et de grisou. Seulement les conditions dans lesquelles ces essais ont été faits sont particulièrement dangereuses et ne se rencontrent qu'exceptionnellement dans la pratique. Toutefois, on doit reconnaître que les explosifs de sûreté essayés ne répondent pas au desideratum de ne pas allumer les mélanges explosifs dans les conditions de l'essai. Mais la plupart des accidents sont produits par l'allumage des mines surmontées de bourrages. Dans ces conditions les explosifs de sûreté présentent une sécurité presque absolue. Au point de vue des poussières, les explosifs à basse température paraissent être sans action nuisible et devront être préférés toutes les fois qu'on les trouvera d'une force suffisante pour le travail à faire.

Bulletin des **accidents arrivés dans l'emploi des appareils à vapeur** pendant l'année 1889.

Les accidents arrivés pendant l'année 1889 dans l'emploi des appareils à vapeur sont au nombre de 41 et ont causé la mort de 30 personnes et des blessures à 14.

Il y en a eu, sur ce nombre, 8 à des chaudières à foyer extérieur, 4 à des chaudières à foyer intérieur horizontales non tubulaires, 7 à des chaudières à foyer intérieur horizontales plus ou moins tubulaires, 1 à des chaudières verticales, 9 à des chaudières diverses, et 12 à des récipients et appareils assimilables.

Sur le total des accidents, 15 sont arrivés par suite de conditions défectueuses d'établissement, 20 sont dus à des conditions défectueuses d'entretien, 20 à un mauvais emploi des appareils, et enfin 3 à des causes restées inconnues. On fait remarquer, comme d'habitude, que si le nombre total des causes est supérieur à celui des accidents, cela tient à ce que le même accident a pu être attribué à plusieurs causes réunies.

Note sur les **inconvénients de l'emploi de certains désincrustants dans les chaudières à petits éléments,** par M. Olry, Ingénieur en chef des mines.

Il est arrivé avec des chaudières à petits éléments deux accidents qui ne sont nullement dus au système de ces chaudières, mais bien à ce

qu'on a usé avec ces générateurs de procédés qui eussent été sans inconvénient avec des chaudières à grands corps.

Le premier accident survenu à Issy sur une chaudière à eau dans les tubes, du type Uhler, a consisté dans la rupture d'un des tubes, et cette rupture doit être attribuée à l'obstruction du tube par un magma provenant de l'introduction dans la chaudière d'une cinquantaine de kilogrammes de pommes de terre pour empêcher la formation de dépôts adhérents. La circulation de l'eau avait été complètement interrompue et les tubes ayant été portés au rouge, l'un d'eux moins résistant avait crevé.

Le second accident, arrivé à Clichy sur une chaudière du type Terme et Deharbe, est également dû à une obstruction amenée, cette fois, par du bois de campêche, dans les mêmes circonstances que dans le cas précédent. Il est donc utile d'appeler l'attention du public sur les dangers qui peuvent résulter de l'emploi des désincrustants solides dans les chaudières à petits éléments.

L'industrie métallurgique dans ses rapports actuels avec les constructions navales, par M. G. Bresson, Ingénieur civil des mines.

Au temps de la marine à voiles et des navires en bois, le fer ne jouait qu'un rôle insignifiant dans les constructions navales. Il en est tout autrement aujourd'hui et la marine est devenue pour la métallurgie un client important dont les besoins ont amené des progrès considérables. La consommation est d'ailleurs très importante. Les coques des navires en fer emploient des tôles, des cornières, des fers profilés, et des pièces de forge, quille, étrave, étambot. Les appareils moteurs nécessitent des tôles pour chaudières, des pièces de forge et de fonte pour les machines. L'emploi de l'acier coulé se répand pour ces dernières. Enfin, l'armement, tant offensif que défensif, est probablement la partie qui a exigé le plus de recherches et de progrès de la part de l'industrie métallurgique pour la fabrication des blindages, des bouches à feu et des projectiles.

Sur l'inflammabilité du grisou par les étincelles provenant du choc de l'acier et sur l'emploi des lampes électriques.

Il s'agit d'un rapport présenté à la commission chargée de l'étude des explosifs et des lampes de sûreté par la sous-commission composée de MM. Mallard, Le Chatelier et Chesneau. Diverses recherches ont été faites sur la question de l'inflammation de grisou par les étincelles provenant du choc des outils. Les plus récentes ont été faites à Saint-Étienne au moyen d'un pic qu'on frappait sur un bloc de porphyre au-dessus d'un bec d'où sortait un mélange inflammable. Lorsque le gaz entrant dans ce mélange était du gaz d'éclairage, les étincelles provoquaient presque à tout coup l'inflammation, mais on ne put jamais enflammer un mélange formé avec du grisou ou plutôt du formène qui a les mêmes réactions. Des expériences faites à Montceau-les-Mines ont conduit au même résultat. On doit donc admettre que les étincelles produites par le choc des outils ne sont pas susceptibles de produire l'inflammation du grisou.

La sous-commission a examiné ensuite la question des lampes électriques et des dangers que peuvent causer le bris de ces lampes ou les

étincelles qui pourraient se produire au moment de la fermeture ou de la rupture du courant. Ce dernier doit être considéré comme nul et celui qui provient de la première cause peut toujours être évité si on a la précaution d'envelopper l'ampoule de la lampe d'un verre épais. On peut dire que si l'emploi des lampes électriques ne présente pas pour le mineur une sécurité absolue, il n'en constitue pas moins un progrès considérable qu'on doit espérer voir se réaliser le plus tôt possible, malgré les dépenses assez fortes de première installation qu'il nécessitera.

SOCIÉTÉ DE L'INDUSTRIE MINERALE

DISTRICT DU CENTRE

Excursion du 26 Octobre 1890 à Clermont-Ferrand.

Dans cette excursion, on a visité d'abord la manufacture de caoutchouc de MM. Thorillon et C^ie^, à Chamalières. Cette usine, qui occupe 300 ouvriers et une force motrice de 200 chevaux, a un outillage perfectionné comprenant 8 déchiqueteurs, 15 mélangeurs, 3 calandres et 12 presses à vulcaniser. A cette usine est annexé un atelier spécial pour la préparation de la cellulose, que l'on retire de la noix du cocotier et qu'on emploie pour remplir les compartiments formant la coque des navires aux environs de la flottaison. Cette substance, trois ou quatre fois plus légère que le liège, jouit de la propriété de se gonfler au contact de l'eau. Cette cellulose est livrée sous forme de briques comprimées à une densité de 0,14 et enveloppées d'un tissu spécial imperméable en caoutchouc. Les propriétés de cette substance sont mises en évidence par une expérience très simple, faite devant les membres de la réunion. Dans le col d'une bouteille pleine d'eau, on introduit une petite quantité de cellulose pulvérulente ; si on retourne la bouteille, on constate qu'il ne se produit aucun suintement. La cellulose a gonflé instantanément et forme un bouchage hermétique.

L'excursion s'est continuée par la visite du tramway électrique de Montferrand à Royat, inauguré au cours de l'année 1890. La ligne, de 7 *km* de longueur, est à l'écartement de 1 *m*, à voie unique, avec garages de croisement aux stations.

La force motrice est fournie par une machine fixe de 150 chevaux, établie à Montferrand et qui commande par courroie une dynamo Thury tournant à 375 tours et produisant un courant de 500 volts et 150 ampères.

Les voitures portent une dynamo Thury qui agit sur l'essieu moteur par une disposition spéciale. Le courant arrive à la voiture par un conducteur aérien qui longe la voie et dans lequel glisse une navette. Il y

a deux types de voitures, l'un à 30, l'autre à 50 places. Chaque voiture — il y en a 20 en été, 10 en hiver — peut faire 20 voyages par jour.

On a visité ensuite la sucrerie de Bourdon, établissement des plus considérables qui comporte : 1° une exploitation agricole ; 2° une fabrique de sucre de betteraves ; 3° une distillerie ou fabrique d'alcools de grains et de mélasse ; 4° une fabrique d'engrais ; 5° des magasins de matériel agricole et 6° une usine à gaz.

La culture se fait sur 200 *ha* environ et a pour objet principal la production de la graine de betteraves qui doit servir de semence aux 3 000 *ha* de terre que les cultivateurs de la Limagne consacrent, année moyenne, à la production des betteraves à sucre qui alimentent les usines de la Société de Bourdon. La fabrique de sucre travaille de septembre à janvier et traite de 35 à 40 000 *t* de betteraves. Elle met en œuvre journellement 400 *t* et produit 350 *qtx* métriques de sucre blanc, premier jet.

La distillerie traite principalement les mélasses provenant de la fabrication du sucre ; elle produit 60 *hl* à 96° par jour. Le liquide dont on a retiré l'alcool est évaporé et incinéré dans des fours à réverbère, et le résidu constitue le salin de potasse qui retourne à la terre sous forme d'engrais chimique. C'est ainsi que la betterave restitue au sol tout ce qu'elle lui prend et que le sucre et l'alcool qu'elle produit sont puisés uniquement dans l'atmosphère.

L'usine de Bourdon fabrique elle-même le gaz nécessaire à son éclairage ; mais une partie de l'éclairage au gaz a été récemment remplacé par l'éclairage électrique. Une dynamo alimente 9 lampes à arc et 46 lampes à incandescence pour l'éclairage des cours et de la distillerie.

RÉUNIONS DE SAINT-ÉTIENNE

Séance du 4 Avril 1891.

Communication de M. Lescure sur la **fabrication des tubes par le procédé Mannesmann.**

Cette question ayant déjà été traitée dans nos Bulletins, nous renverrons à ce sujet nos collègues à la Chronique d'août 1890, page 318, et au Procès-Verbal de la séance du 20 mars 1890.

Dromographe et lampe La Roulle. — M. La Roulle présente un graphique relevé sur la machine du ventilateur du puits du Bardot, de la Société des Houillères de Saint-Étienne et diverses modifications à sa lampe de sûreté, dont l'une, notamment, paraît présenter un assez grand intérêt.

Le tamis supérieur est remplacé par un disque de verre très épais recouvert lui-même par un disque de mica. Le mica et le verre laissent éclairer un mètre carré du plafond, ce qui est d'une grande utilité pour le mineur ou le boiseur qui, lorsqu'il veut examiner le plafond, est obligé d'incliner sa lampe, ce qui l'éteint le plus souvent. De plus, la plaque de mica protège le verre chauffé par la flamme de la lampe contre les gouttes d'eau qui ne manqueraient pas de faire éclater le disque de verre.

Communication de M. Rossigneux sur la **Production de l'aluminium par les procédés électriques.**

Cette communication extraite de l'*Engineer* du 21 novembre 1890, décrit quelques installations pour la production de l'aluminium par voie électrolytique, telles que celles de Pittsburg et de Neuhausen. On y trouve des détails intéressants sur l'installation des turbines dans cette dernière et des considérations sur les vitesses à adopter dans les conduites de dérivation, lesquelles vitesses peuvent être prises beaucoup plus grandes qu'on ne le fait généralement, lorsqu'on est en présence d'une source de force motrice presque illimitée, ce qui a pour conséquence une économie importante dans les frais d'établissement.

Explosions de grisou causées par la foudre. — Une note lue récemment devant l'Institut des mines d'Écosse par M. David Smith cite une explosion de grisou amenée par la foudre au charbonnage de Drumsmudden en novembre 1890. Dans la discussion qui a suivi, divers faits de même nature ont été rapportés :

L'Administration des mines de Belgique a porté à la connaissance de M. F. Evrard, directeur des télégraphes belges, deux explosions de grisou attribuées à la foudre, arrivées l'une en 1847 à Dour, l'autre en 1878 aux charbonnages de Marihaye.

Communication de M. Rossigneux sur les **Installations de la Cie Popp**, à Paris, pour l'air comprimé.

La Cie Popp possède une usine d'air comprimé à Belleville et une seconde est en construction. Depuis quelques années cette usine a été considérablement augmentée (Voir pour le matériel primitif la communication de M. Carimantrand à la séance de la Société des Ingénieurs civils du 1er juin 1888.)

En 1889 on a installé dix chaudières Galloway de 90 m^s de surface de chauffage chacune et cinq machines compound horizontales de 400 chevaux, dont quatre actionnent chacune deux compresseurs Dubois et François dont une figurait à l'Exposition de 1889.

La cinquième machine commande un compresseur Riedler à deux corps donnant une compression étagée. Tout cet ensemble développe environ 4 000 chevaux ; toutes les machines fonctionneront à condensation ; et comme l'eau est prise à la canalisation de la ville et coûte cher, on la refroidit dans des réfrigérants où elle tombe en pluie.

Il y a 8 *km* de canalisation en tuyaux de 300 *mm* de diamètre et 10 *mm* d'épaisseur placés dans les égouts. La vitesse de l'air est de 10 *m* par seconde et la perte de pression à l'extrémité de la conduite atteint 1 *kg*. Tous les 100 *m* est placé un purgeur d'eau entrainée fonctionnant par un flotteur.

M. François, de Seraing, estime que, pour obtenir 1 m^s d'air comprimé à 6 *kg*, il faut faire produire à la machine motrice 167 000 *kgm* ; si on ajoute 5 500 *kgm* pour la perte de chaque prise en moyenne à 1/2 *kg* on a un travail indiqué de 172 500 *kgm*.

Des expériences faites à Saint-Fargeau ont constaté que 1 m^o d'air à 6 *kg* employé froid et avec détente fournit 80 000 *kgm* de travail indiqué, chauffé à 200° il rend 112 000 *kgm*, chauffé avec injection d'eau

115 000, ce qui donne un rendement final de 0,869, le rendement étant, dans les deux cas précédents de 0,46 et 0,65 (1).

Avec des machines dépensant 1 *kg* de combustible à 26 *f* la tonne par cheval-heure, les frais de production par jour, tout compris pour 96 000 chevaux-heure (6 000 chevaux pendant seize heures), s'élèvent à 6 144 *f*; avec un rendement de 80 0/0, soit réduction du nombre des chevaux à 76 800, le prix du cheval-heure disponible sur les récepteurs ressortirait à 0,08 *f*; si on ajoute 0,01 *f* pour le chauffage de l'air, et 20 0/0 pour les fuites, on obtient 0,11 prix très comparable à celui du cheval-heure obtenu par les moteurs à vapeur et très inférieur à celui du travail obtenu par les moteurs à gaz.

L'air comprimé est utilisé pour la force motrice, pour la mise en mouvement d'ascenseurs et de monte-charges, pour le transvasement des liquides, pour des chambres frigorifiques (détente de l'air comprimé); enfin la Cie Popp l'utilise pour la mise en mouvement de plusieurs usines qu'elle a dans Paris et qui servent à la production de l'éclairage électrique.

La note reproduit des considérations intéressantes publiées par le Dr Riedler dans le *Journal des Ingénieurs allemands* sur la dépense d'air comprimé par divers moteurs et sur le refroidissement des compresseurs. M. Riedler estime que le refroidissement dans la masse est très imparfait et qu'on ne peut empêcher une perte importante de travail que par l'emploi de compresseurs étagés.

La nouvelle usine de la Compagnie Popp, au quai de la Gare, comprendra vingt générateurs Babcock et Wilcox et cinq machines verticales de 2 000 chevaux chacune; ces machines, à trois cylindres, sont à triple expansion et commandent chacune trois compresseurs Riedler. L'air comprimé sera distribué par deux conduites en tôle rivée de 0,50 *m* de diamètre.

Application des sondages à l'aérage des mines grisouteuses. — Il s'agit d'observations tendant à déclarer inexactes les considérations présentées dans une séance précédente par M. Rameaud, à l'appui de son projet d'aérage des mines par des trous de sonde descendant jusque dans les galeries pour les mettre en communication directe avec l'extérieur.

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS ALLEMANDS

N° 18. — 2 *Mai* 1891.

Notice nécrologique sur Frédéric-Charles Euler.

Machines de laminoirs avec distribution par coulisse contrôlée par le régulateur, par C. Kierselbach.

1. Nous avons reproduit les chiffres donnés dans la note, bien qu'il nous semble y avoir une erreur dans les rendements indiqués ici.

Chemin de fer souterrain à Londres, par L. Troske *(suite)*.
Exploitation des mines en Espagne, par F. Benther.
La nouvelle loi sur les patentes d'invention du 7 avril, par Th. Peters.

Machines-outils. — Machine à tailler les dents d'engrenages.

Groupe de Hanovre. — Industrie de la province de Hanovre.

Groupe du Palatinat Saarbruck. — Établissement de construction de machines de Ehrhardt et Sehmen. — Indicateur de pression du gaz, de Langen et Lux.

Groupe de Westphalie. — Chute du pont sur la Ruhr à Hohensyburg. — Voyage en Amérique des ingénieurs et métallurgistes allemands.

Variétés. — Réunion annuelle de l'Institut du fer et de l'acier.

N° 19. — 9 *Mai* 1891.

Considérations sur le développement de l'emploi des appareils hydrauliques de levage en Allemagne, au sujet des nouvelles installations des ports-francs de Brême et de Hambourg, par Ad. Ernst *(suite)*.
La flotte allemande, coup d'œil sur son importance et sa valeur réelle, par Lechner.
La question des freins, par F.-A. Holleman.

Groupe de Breslau. — Fabrication et pose des câbles pour l'éclairage électrique.

Association des chemins de fer. — Nouvelles recherches expérimentales sur le frottement des fusées. — Heurtoir hydraulique.

Variétés. — Presse-étoupes métallique. — Sifflet à vapeur à trois timbres, de Crosby.

N° 20. — 16 *Mai* 1891.

Considérations sur le développement de l'emploi des appareils hydrauliques de levage en Allemagne, au sujet des nouvelles installations des ports-francs de Brême et de Hambourg, par Ad. Ernst *(suite)*.
Dépenses d'exploitation des installations centrales d'éclairage électrique, par J. Riemer.
La question des freins, par F.-A. Holleman *(fin)*.
Exploitation des mines en Espagne, par F. Benther *(fin)*.
Exposition électrotechnique internationale de Francfort-sur-le-Mein, en 1891.

Groupe de Berlin. — Recherches sur les courants électriques.

Variétés. — Conséquences du manque d'eau dans les chaudières tubulaires.

Correspondance. — Expériences sur l'écoulement de l'eau par déversoirs.

N° 21. — 23 *Mai* 1891.

Sur la limite extrême de la vitesse réalisable pour la traversée de l'Atlantique entre l'Europe et les États-Unis, par W. Rieher.

Théorie des pompes centrifuges, par G. Lindner.

Appareils de levage. — Grues roulantes pour service de quais, par A. Hubner.

Industrie chimique. — Acide sulfurique. — Soude. — Chlore, par F. Fischer.

Exploitation des Mines. — Les conditions du travail dans les mines anglaises comparé à celles du Continent, par Köhler.

Groupe de Hanovre. — Notes de voyage sur les chemins de fer anglais et belges. — Législation allemande sur les patentes d'invention.

Variétés. — La plus grosse locomotive du monde. — Exposition internationale de moteurs et de machines-outils à Palerme.

Correspondance. — Utilité de la condensation.

N° 22. — 30 *Mai* 1891.

Distribution d'eau de la ville de Mannheim, par O. Smreker.

Considérations sur le développement de l'emploi des appareils hydrauliques de levage en Allemagne, au sujet des nouvelles installations des ports francs de Brême et de Hambourg, par Ad. Ernst *(suite)*.

Influence de l'épaisseur des aubes dans les turbines, par R. Stribeck.

Exploitation des mines. — Les conditions du travail dans les mines anglaises comparées à celles du Continent, par Köhler *(fin)*.

Les chemins de fer d'usines, par E. Frankel.

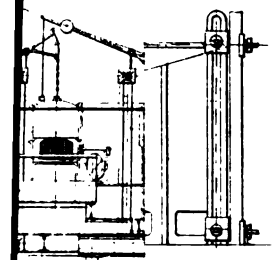
Réunion générale du printemps de l'Institut du fer et de l'acier.

Bibliographie. — Manuel des sciences de l'ingénieur. — Appareils de levage, par F. Lincke et F. Gutermuth. — Calcul et construction des éléments des machines, par W. Rebber et A. Pohlhausen.

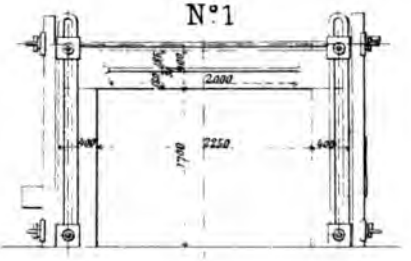
Pour la Chronique et les Comptes rendus :

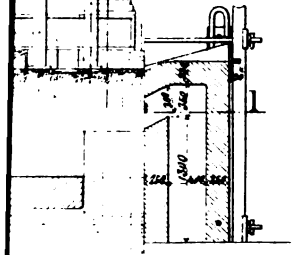
A. Mallet.

IMPRIMERIE CHAIX, RUE BERGÈRE, 20, PARIS. — 13778-6-91.

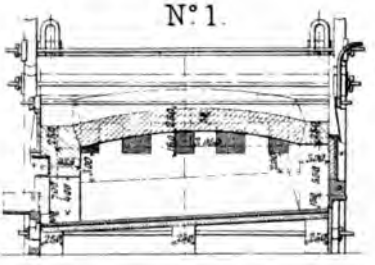


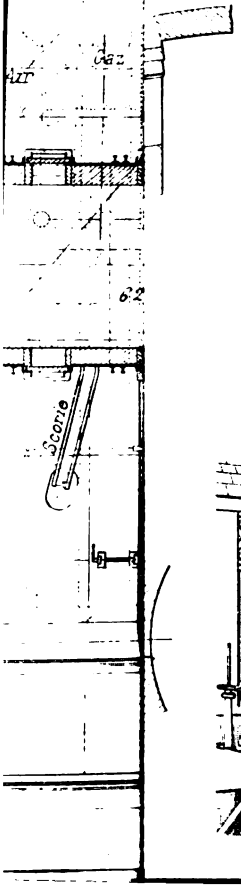
N°1


2000
1700
7250

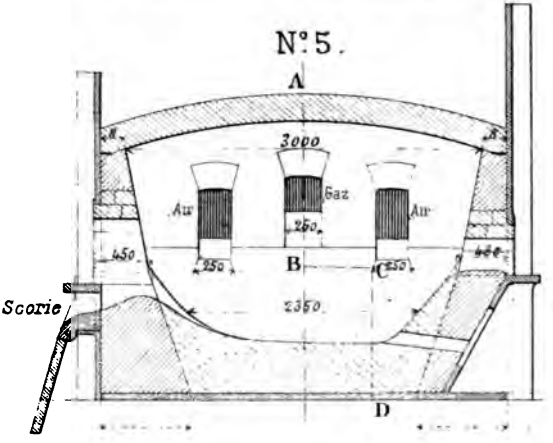


N°1.

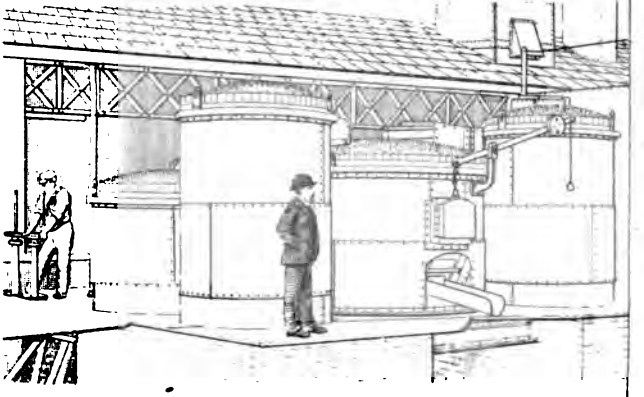



Air
Gaz
Scorie

N°5.

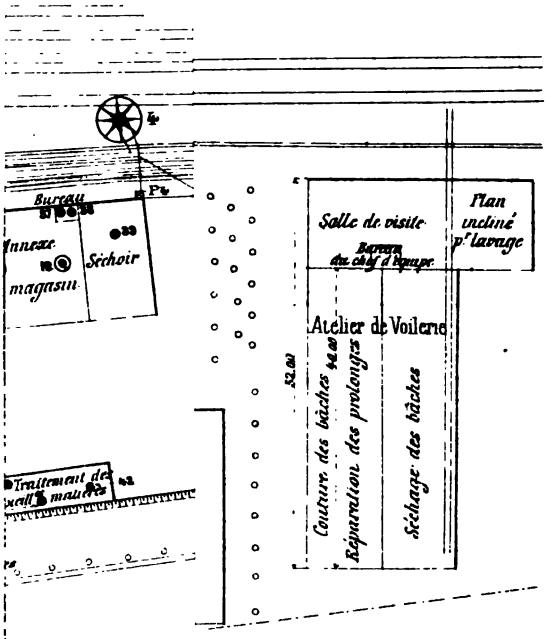

A
3000
Air
Gaz
Air
250
450
250
B
250
2350
Scorie
D

N°5.



DE FORCE ET

Echelle



égende.

sine

atrice

trice placée dans la manutention

le monte charge M
le rince bouteilles C
le rince-bouteilles F

trice placée dans la cave aux vins

s actionné par la réceptrice R.

ller éxistant actuellement en g.

ller éxistant en magasin

ransvaser les vins

8 ampères (7 pièces)

ion de la force.

électrique

pères (3 pières).

de 200 bougies (10 pièces).

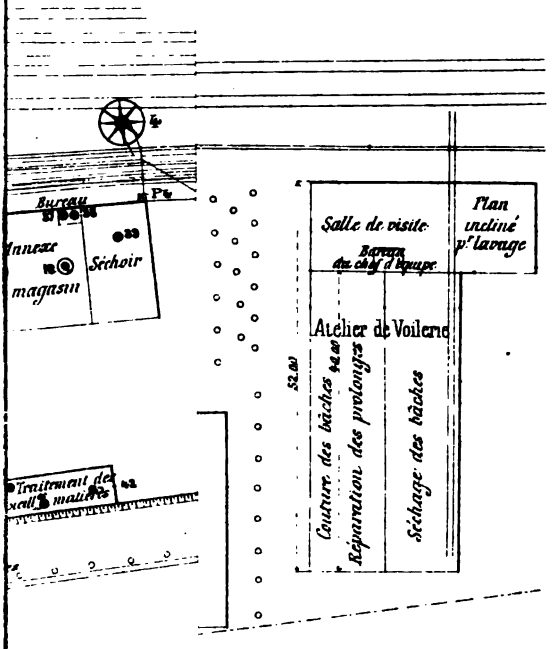
de 16 bougies (56 pièces).

Jardin

Courtier, 43, rue de Dunkerque, Paris. 1906-91

DE FORCE ET

Echelle



égende.

sine

atrice

trice placée dans la manutention

le monte charge M
le rince-bouteilles C
le rince-bouteilles F

trice placee dans la cave aux vins

s actionné par la réceptrice R

ller existant actuellement en g.

ller existant en magasin

ransvaser les vins

8 ampères (7 pièces)

ion de la force.

électrique

ères (3 pièces).

de 200 bougies (10 pièces).

de 16 bougies (56 pièces).

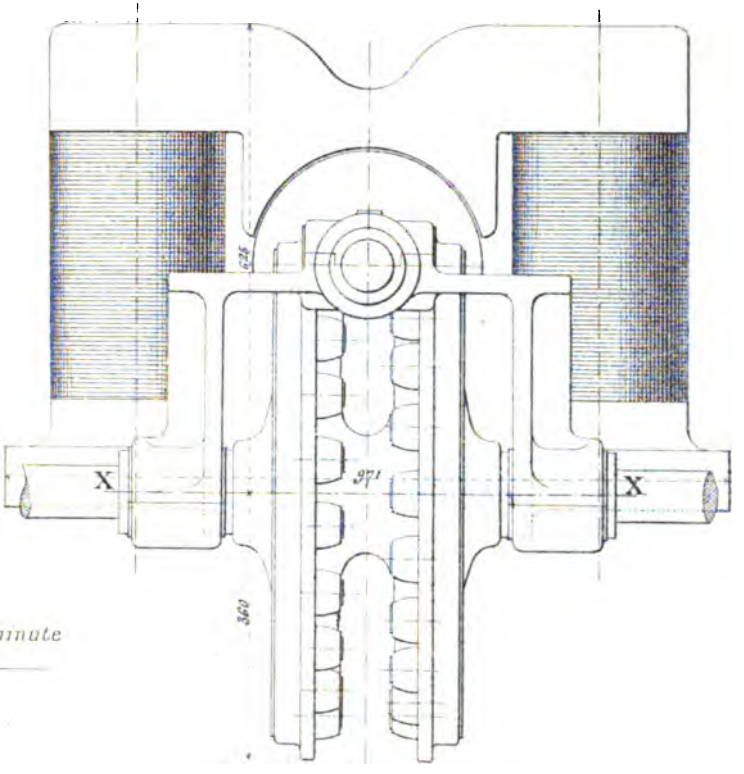
Jardin

Courtier, 43, rue de Dunkerque, Paris. 1926 91

…sse de Bourdon.

…ctriq…

Fig. 4. Élévation transversale.

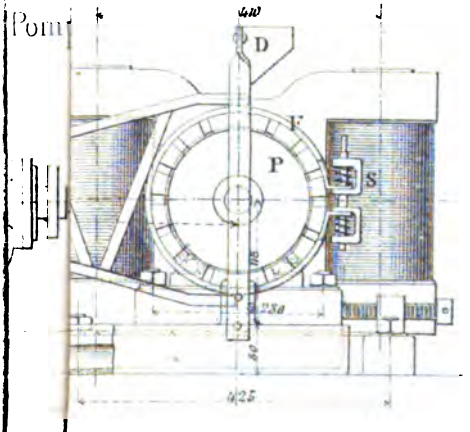


…minute

…400 tonnes par minute.

…ig. 7. Profil

Pom…



Légende

P *Poulie de la dynamo.*
E *Frein.*
L *Levier du frein.*
B *Peson.*
C *Cuvette.*
D *Réservoir à eau de savon.*

Développement du bras de levier par tour : 3 mètres.
Le levier est en treillis de tôle d'une épaisseur de 0m/m 5 et est équilibré par le poids du système de serrage S.

Poids du treillis : 0k550.

Auto-Imp. L. Courtier, 43, rue de Dunkerque, Paris. 1878 9!

tricité.

F

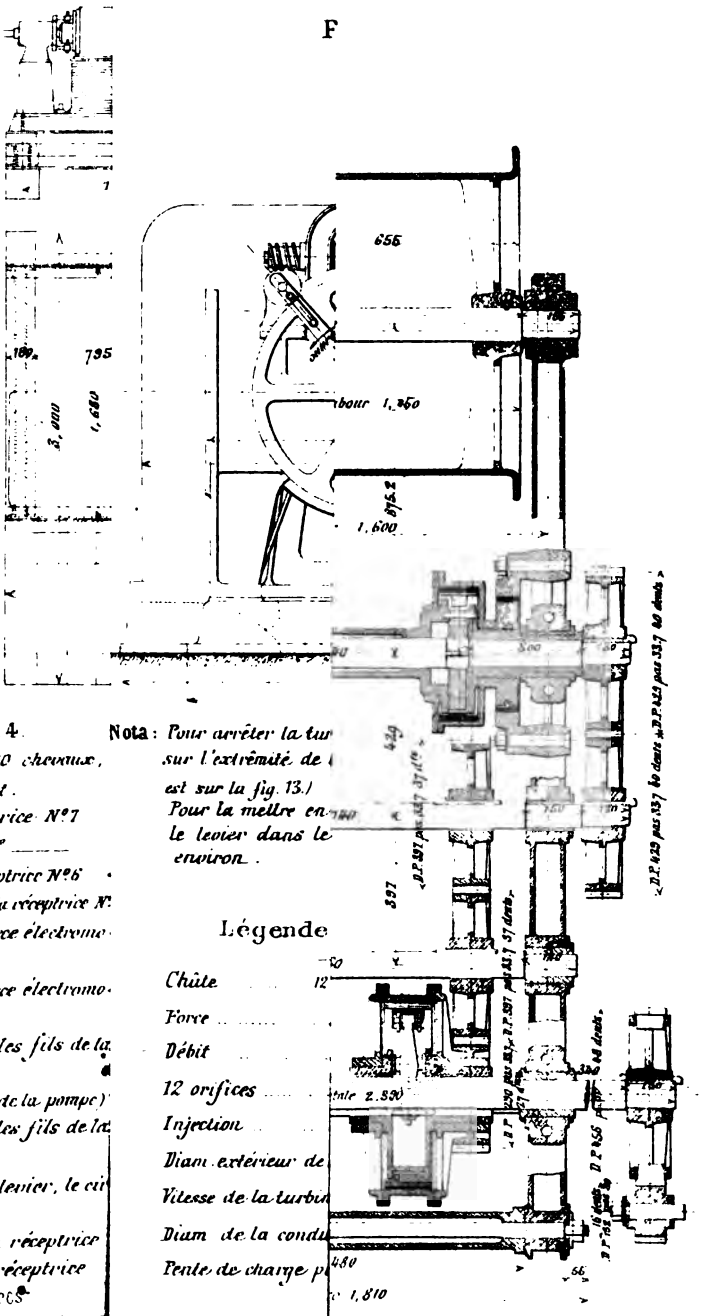


Fig. 4.

. à 10 chevaux,
constat.
réceptrice N°7
d° ——
réceptrice N°6
de la réceptrice N°
la force électromo
la force électromo
7
ant les fils de la
ant de la pompe)
ant les fils de la
du levier, le cir
ur la réceptrice
la réceptrice
udres
ce dans le circuit
supprimé
la terre

Nota : *Pour arrêter la tur*
sur l'extrémité de
est sur la fig. 13.)
Pour la mettre en
le levier dans le
environ.

MÉMOIRES

ET

COMPTE RENDU DES TRAVAUX

DE LA

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS

JUIN 1891

N° 6

Sommaire des séances du mois de juin 1891 :

1° *Observations de M. Jordan au sujet du procédé Bérard* (Séance du 5 juin), page 726.

2° *Lettre* de M. P. Charpentier en réponse aux observations de M. Jordan (Séance du 19 juin), page 743.

3° *Lettre* de M. A. Pourcel en réponse aux observations de M. Lencauchez (Séance du 19 juin), page 742.

4° *Décès* de MM. L.-E. Chaize, F.-T. Dubost, S. Gauthier, R. Gentilini, J.-P. Séverac, sir John Hawkshaw et Ch. Mlodecki (Séances des 5 et 19 juin, pages 727 et 745.

5° *Décorations et nominations* (Séances des 5 et 19 juin), pages 727 et 745.

6° *Prix de la Société d'encouragement* décernés à MM. Candlot, Knab, Raffard, de Brochocki et Malo (Séance du 5 juin), page 728.

7° *Prix annuel de la Société* (médaille d'or) décerné à M. Aug. Normand (Séance du 19 juin), page 752.

8° *Prix Nozo* (médaille d'or) décerné à MM. Durant et Lencauchez (Séance du 19 juin), page 752.

9° *Situation financière de la Société (Rapport de M. le Trésorier sur la)* (Séance du 19 juin), page 745.

10° *Remboursement des Bons de l'emprunt 1889 (Tirage des Bons à rembourser et rappel du)* (Séance du 19 juin), page 751.

11° *Congrès de l'Association française pour l'avancement des Sciences à Marseille* (Séance du 5 juin), page 730.

12° *Excursion en Hollande* (Séance du 5 juin), page 730.

13° *Commission pour l'étude de l'unification des méthodes d'essais des matériaux* (Lettre de M. Gay, directeur général des chemins de fer, et nomination de délégués), (Séance du 5 juin), page 728.

14° *Épuration des Eaux par le procédé Anderson (Note de M. Petlit et visite de l'usine d')* (Séance du 5 juin), page 731.

15° *Zéro absolu et coefficient de dilatation*, par M. de Bruignac et discussion par MM. Bertrand de Fontviolant, de Bruignac et D.-A. Casalonga (Séances des 5 et 19 juin), pages 732 et 739).

16° *Pont Washington sur le Harlem River (Note de M. Pontzen sur l'ouvrage de M. A. Hutton)* (Séance du 5 juin), page 728.

17° *Éclairage électrique de Londres et les Hautes tensions*, par M. Ch. Haubtmann (Séance du 5 juin), page 736.

18° *Sondeur Belloc (Note sur le)* par M. H. Chevalier (Séance du 19 juin), page 752.

19° *Port de Novorossisk (Accident arrivé au Pont roulant du)*, analyse d'une note de M. Yankowsky, par M. P. Regnard (Séance du 19 juin), page 754.

20° *Maximum théorique du rendement direct des machines à vapeur (Discussion de la communication de M. Casalonga sur le)*, par MM. G. Richard, Arnoux, D.-A. Casalonga et Bertrand de Fontviolant (Séances des 5 et 19 juin), pages 735 et 755.

21° *Paquebot transatlantique* la Touraine *(Note sur le)*, par M. Jousselin (Séance supplémentaire du 26 juin), page 769.

22° *Paris port de mer (Projet de)*, par M. Bouquet de La Grye et Observations de MM. E. Badois, R. Le Brun, et J. Fleury (Séance supplémentaire du 26 juin), page 773.

Pendant le mois de juin 1891 : la Société a reçu :

32174 — De M. A. Gosset. *Les coupoles d'Orient et d'Occident.* (In-8° de 35 p.). Reims, Matot Braine, 1891.

32175 — De la Compagnie du Chemin de fer du Nord. *Rapport du Conseil d'administration, année 1891.* (Petit in-4°). Lille, L. Danel, 1891.

32176 — De l'Association française pour l'Avancement des Sciences. *Comptes rendus de la 19e session (Limoges 1890, 2e partie).* (In-8°). Paris, G. Masson, 1891.

32177 — De l'Accademia in Modena. *Memorie della Regia Accademia di Scienze, Lettere e d'arti in Modena (série II, vol. VII, 1890).* (In-4°). Modena, Società tipografica, 1890.

32178 et 32179 — De M. D. Antonio Sans y Garcia (M. de la S.). *Construcciones e industrias rurales*, per José Bayer y Bosch, tomes I et II. (Grand in-8° de 296 p. et de 318 p.). Barcelona, D. Ortega, 1889 et 1890.

32180 — De M. A. Kerska. *Pantobiblion international bibliographical : Review of the World's scientific litterature.* Published Monthly, n° 1. 1890. (In-8°). Saint-Pètersbourg, A. Kerska, 1891.

32181 — De M. E. Lamort (M. de la S.). *Étude sur les travaux de régularisation des cours d'eau exécutés par l'Administration du Service agricole dans le Grand-Duché de Luxembourg.* (In-8° de 17 p.). Luxembourg, L. Bück, 1891.

32182 — De M. J.-A. Berly. *Universal electrical directory.* (Grand in-8°). 1891, London, W. Dawson and Sons, 1891.

32183 à 32186 — De M. Soulerin (M. de la S.). 4 notices sur *les Freins Soulerin.* (In-8°). Paris, Société des freins Soulerin, 1890.

32187 — De M. A. Fock (M. de la S.). *Les Chemins de fer de pénétration.* In-8° de 12 p.). Paris, *Génie Civil*, 1891.

32188 et 32189 — De M. E. Delecroix. *Statistique des houillères en France et en Belgique (années 1890 et 1891).* (In-8°). Paris, Chevalier-Marescq, 1891.

32190 — De M. G.-E. Pettit (M. de la S.). *La purification des eaux par le fer métallique dans le purificateur rotatif Anderson.* (In-8° de 68 p., avec pl.). Paris, Ad. Hoste, 1889.

32191 — De M. Sanford Fleming. *Time reckoning for the twientieth Century.* (In-8° de 22 p.). Washington, S. Adams, 1889.

32192 — Du Canadian Institute. *Fourth annual Report of the Canadian Institute.* (In-8°). Toronto, Warwich and Sons, 1891.

32193 — De MM. Al. et J. Bricard (M. de la S.). *Journal du canonnier Bricard.* (In-12 de 494 p., 1792-1802). Paris, Ch. Delagrave, 1891.

32194 — De la Società degli Ingegneri e degli Architetti italiani. *L'Alluminio e le sue leghe. Note ed experienze,* par E. Stassano. (In-8° de 47 p.). Roma, Voghera, 1891.

32195 — De M. P. Gronsky (M. de la S.). *Comment faut-il construire le chemin de fer Transsibérien?* (Petit in-4° de 24 p., en russe). Moscou, 1891.

32196 — De M. Davrillé des Essards. *La solution du Métropolitain par la transversale.* (In-8° de 23 p., avec pl.). Paris, P. Dupont, 1891.

32197 — De la Société industrielle du Nord de la France. *Histoire de l'industrie sucrière dans la région du Nord,* par C. Mériau. (In-8° de 267 p.). Lille, L. Danel, 1891.

32198 — De M. E.-L. Corthell (M. de la S.). *The Lakes and Gulf waterway as related to the Chicago Sanitary Problem.* (In-8° de 92 p.). Chicago, W. Weston, 1891.

32199 à 32203 — De MM. Ch. Bourdon et L. Chapron (M. de la S.). *Projet de chemin de fer transversal de pénétration et de jonction.* Mémoire, plan d'ensemble, profil en long, ouvrages d'art (Petit in-4°). Paris, 1891.

32204 — De M. R.-H. Thurston (M. de la S.). *Cornell University : Her general and technical Courses*, par Frank C. Perkins. (In-12 ital. de 112 p.). Buffalo, Matthews and C°, 1891.

32205 à 32207 — De M. Kaindler (M. de la S.). Trois photographies d'installations de *Fabriques de pâte de bois au bisulfate de chaux.*

32220 à 32269 — De M. Pontzen (M. de la S.). *Washington Bridge over the Harlem River in the City of New-York*, by R. Hutton. 6 photographies, 40 dessins de détails et 4 feuilles relatives aux essais.

32208 — De l'Institut égyptien. *Bulletin n° 1, 3e série, année 1890.* (In-8°). Le Caire, Imprimerie Nationale, 1890.

32209 — De l'*Association alsacienne des propriétaires d'appareils à vapeur (section française). Exercice 1890.* (Gr. in-8°). Nancy, Berger-Levrault et C^ie^, 1891.

32210 — De M. le comte de Salis (M. de la S.). *M. Albaret, sa vie et ses travaux.* (In-12 de 8 p.). Paris, Noizette, 1891.

32211 — De M. J. Courau (M. de la S.). *Les Chemins de fer de l'Algérie-Tunisie, leur état actuel, leur histoire et leur avenir.* (In-8° de 190 p. avec pl. et tabl.). Paris, J. Michelet, 1891.

32212 — De la *Société de géographie commerciale de Paris. Bulletin n° 1, octobre 1890.* Paris, Lahure, 1891.

32213 — De M. E. Trélat (M. de la S.). *École spéciale d'architecture. Concours de sortie de 1890.* Paris, Delálain, 1891.

32214 — De M. H. Chapman (M. C. de la S.). *Electriclight cables, to Silvertown.* (Petit in-8° ital. de 58 p.). London, Rikerby, 1891.

32215 — Du même. *Locomotive development*, by Clement E. Stretton. (Petit in-8° de 40 p.). Leeds Goodall and Suddick, 1891.

32216 — Du même. *Observations on various matters of interest to Engineers in the United States of America*, by J. Head. Middlesbrough, 1891.

32217 — Du même. *Board of trade Report upon M'Neil's patent steel embossed man-and mud-hole doors containing results of experimental tests*, by Thomas. W. Traill and Peter Samson. (In-8° de 31 p. avec pl.). Glasgow, 1888.

32218 — De M. Gius. Perelli-Minetti. *Serbatoi e recipienti economici in tele impermeabili.* (In-8° de 23 p.). Barletta, Dellisanti et Giononne, 1891.

32219 — Du même. *Refrigeranti economici.* (In-8° de 11 p.). Barletta, Dellisanti et Giononne, 1891.

32270 — De M. A. Picard. *Exposition universelle de 1889. Rapports du Jury international, Groupe II, 1re partie.* (Gr. in-8°). Paris, Imprimerie Nationale, 1891.

32271 — De la *Chambre de Commerce de Dunkerque. Recueil des procès-verbaux des séances, année 1890.* (In-8°). Dunkerque, Boyaval, 1891.

32272 — De M. A. Parent (M. de la S.). *Démonstration élémentaire du théorème de Bachet*, par A. Matrot. (Petit in-8° de 16 p.). Paris, Nony et Cie, 1891.

32273 — De M. P. Decauville (M. de la S.). *Réponse à la note de M. Félix Martin sur le régime des chemins de fer secondaires en France.* In-8° de 28 p.). Corbeil, J. Crété, 1891.

32274 à 32276 — De l'*Académie des sciences, belles-lettres et arts de Clermont-Ferrand. Mémoires nos 3 et 4. Bulletin historique et scientifique de l'Auvergne, année 1890.* (In-8°). Clermont-Ferrand, Bellet et fils, 1890 et 1891.

32277 à 32279 — De M. L.-J.-H. Chevalier (M. de la S.). 3 dessins du nouvel *Appareil de sondage de M. E. Belloc.*

Les membres nouvellement admis pendant le mois de juin 1891 sont :

Comme membres sociétaires : MM.

Bourgois, Ch.-L.,	présenté par MM.	Camus, Jousselin et Lencauchez.
Boussemaer, A.-L.,	—	Du Bousquet, Forest et Rodrigue.
Guillot, G.,	—	Carimantrand, Lévi et Mallet.
Héroult, P.-L.-T.,	—	Buquet, Regnard et Haubtmann.
Jaquemet, Ch.-M.-A.,	—	Arson, Euchène et Gigot.
Picou, R.-V.,	—	de Bovet, Hillairet et Wherlin.
Prugnières, E.-A.,	—	Bertrand de Fontviolant, Bert et Vallot.
Robert-Leroi, A.,	—	Carimantrand, Lévi et Mallet.
Roux, P.-J.,	—	Francq, Mesnard et Schœnstein.
Wyss, E.-A.,	—	Eiffel, Contamin et Post.

Comme membres associés : MM.

Bricard, A.-H.,	présenté par MM.	Carimantrand, Lévi et Mallet.
Poret, J.-L.-Ch.,	—	Hallopeau, Brossard et Freulon.

RÉSUMÉ

DES

PROCÈS-VERBAUX DES SÉANCES

DU MOIS DE JUIN 1891

Séance du 5 juin 1891

PRÉSIDENCE DE M. E. POLONCEAU.

La séance est ouverte à huit heures et demie.

M. JORDAN, à propos du procès-verbal et quoiqu'il pense que la Société n'est pas le lieu où doivent se discuter des antériorités, demande à faire quelques remarques relatives à une revendication présentée en faveur d'un inventeur décédé. Il a connu et vu les essais d'Aristide Bérard à Montataire et à Marquise en 1867 et 1869, ayant été, avec MM. Burat et Dorian, chargé d'une expertise relative à ces essais; il a étudié les brevets de A. Bérard et a eu avec lui de nombreuses conférences dont il retrouve les traces dans ses notes de l'époque. C'est pourquoi il ne peut considérer A. Bérard comme un des pionniers de la déphosphoration sur sole basique.

Les essais de cet inventeur étaient dirigés dans une toute autre voie : il voulait épurer le métal sur une sole en brasque de graphite (agglomérée avec un mortier calcaire ou argileux), au moyen des gaz, et en opérant des oxydations et réductions alternatives. Malgré des tentatives prolongées et très coûteuses, il n'est arrivé à aucun résultat pratique. M. Jordan pense que c'est par suite d'une erreur de plume que le procès-verbal parle d'une densité de 9 pour l'acier : aucun acier, même fondu et non trempé, ne dépasse 8; les aciers trempés n'atteignent pas ce chiffre. Le plus dense des métaux ferreux, le fer déposé par l'électrolyse, n'atteint pas 8 1/2, d'après Percy. Quant au *rosex stahl*, M. Jordan n'a pas vu en Styrie d'acier de ce nom, qui lui est inconnu. L'autorité justifiée dont jouissent nos Bulletins a paru à M. Jordan rendre nécessaires ces observations historiques.

Sous réserve de ces observations, le procès-verbal de la dernière séance est adopté.

M. LE PRÉSIDENT a le regret d'annoncer le décès de :

M. Chaize, Louis-Élisée, membre de la Société depuis 1874, et qui était administrateur de la Compagnie des Bateaux Parisiens ;

M. Dubost, Frédéric-Toussaint, membre de la Société depuis 1885, ancien élève de l'Ecole polytechnique ; a été attaché aux ateliers de construction et de réparation des locomotives aux chemins de fer de l'Est, puis inspecteur attaché au service des études du matériel de la Cie des chemins de fer de l'Est ;

M. Gauthier, Stanislas, membre de la Société depuis 1882 ; a été constructeur de charpentes en fer, puis manufacturier, fabricant de ferronnerie ;

M. Gentilini, Raphaël, membre de la Société depuis 1887 ; a été Ingénieur au Ministère des Travaux publics pendant le siège de Paris, Ingénieur et secrétaire général des chemins de fer de l'État de Berne, puis aux chemins de fer Roumains, Ingénieur en chef des chemins de fer de la Beïra-Alta, puis représentant et fondé de pouvoirs de la Maison Eiffel en Cochinchine et au Cambodge, décédé à Maracaïbo (Venezuela) peu de temps après son arrivée comme Ingénieur en chef de la Compagnie de Fives-Lille ;

M. Séverac, Jacques-Paul, Ingénieur civil, mécanicien ; a été Ingénieur de la Maison Voruz, constructeur à Nantes, puis constructeur-mécanicien, membre de la Société depuis 1870.

M. Chapman, notre correspondant de Londres, nous annonce également la mort, dans sa quatre-vingtième année, de sir John Hawkshaw, membre honoraire de la Société depuis 1875, et dont la réputation comme Ingénieur civil était connue du monde entier. De très bonne heure, il montra de grandes dispositions dans l'exercice de sa profession, et son nom est attaché à tous les travaux de chemins de fer et de ponts qui se sont faits dans ces dernières années en Angleterre. C'est lui qui, en 1870, prépara les plans du tunnel sous la Manche dont le gouvernement anglais s'oppose chaque année à la construction. Hawkshaw étudia aussi le tunnel sous la Severn et lorsqu'on réunit la station terminus Cannon-Street à celle de Charing-Cross, c'est lui qui construisit les deux superbes ponts en fer qui traversent la Tamise.

M. LE PRÉSIDENT a le plaisir d'annoncer à la Société que M. le Président de la République a, dans son récent voyage dans le Midi de la France, décoré à Montauban un de nos membres les plus distingués, M. A. Roques, Ingénieur principal de la Cie des chemins de fer du Midi.

M. Roques, qui est membre de notre Société depuis 1867, a étudié et fait exécuter un grand nombre de chemins de fer, et c'est lui qui a dirigé, de 1863 à 1867, tous les travaux : villas, casino, hôtel qui ont été exécutés à Arcachon, et qui, en quelques années, ont transformé en ville florissante cette localité qui n'était, pour ainsi dire, qu'un simple hameau de pêcheurs.

M. LE PRÉSIDENT annonce en outre les nominations et distinctions suivantes obtenues par divers membres de la Société :

MM. G. Dehenne et P. Forsans ont été nommés officiers d'Académie, et M. L. Appert, chevalier de l'Ordre de Charles III d'Espagne.

M. Candlot a obtenu un prix de 3000 *f*, et M. L. Knab un prix de 1 000 *f* de la Société d'Encouragement pour l'Industrie nationale. M. Raffard a obtenu une médaille d'or, et MM. de Brochocki et L. Malo une médaille d'argent de la même Société.

Enfin M. P. Gronsky a été nommé directeur des tramways de Saint-Pétersbourg (grand réseau).

M. Desmarais, notre collègue, fait abandon d'un bon souscrit par lui au dernier emprunt.

M. LE PRÉSIDENT donne la parole à M. Pontzen :

M. PONTZEN rappelle que M. W. R. Hutton a fait don à la Société d'un magnifique ouvrage, publié à New-York par l'éditeur Leo von Rosenberg. Cet ouvrage est une description très détaillée du pont Washington, construit de 1886 à 1889 à New-York, sur le Harlem River, pour donner passage à une route reliant deux avenues.

Personne ne conteste à nos confrères américains le mérite de savoir construire des grands ponts avec une rapidité et une hardiesse incomparables; mais ces préoccupations priment en général celle de la beauté. Par le pont Washington, dont M. Hutton a été l'Ingénieur-conseil et puis l'Ingénieur en chef, nous avons la démonstration que les Américains s'entendent également à créer des ouvrages monumentaux magnifiques.

M. Pontzen remet à la Société, de la part de M. Hutton, une riche collection de plans et photograhies du pont Washington qui a 724 *m* de longueur et 24,40 *m* entre parapets. Deux grandes ouvertures de 155,55 *m* chaque, sont franchies à l'aide d'arcs en acier s'appuyant sur des rotules. De part et d'autre se trouvent trois arches maçonnées de 18 *m*. La hauteur libre au-dessus des hautes eaux est de 40,72 *m*.

Après avoir donné une description sommaire du pont et avoir signalé que l'ouvrage de M. Hutton renferme les cahiers des charges, les résultats de nombreux essais et les calculs de détermination des dimensions, il relève la comparaison faite avec les deux ponts sur le Douro, le viaduc de Garabit et le pont de Saint-Louis sur le Mississipi.

M. Hutton s'est attaché à rendre justice à tous ses collaborateurs, dont il cite les noms.

L'éminent Ingénieur américain attache une grande valeur à sa qualité de membre de notre Société qu'il fait figurer dans ses titres.

M. Pontzen estime que tous ceux qui auront étudié l'œuvre de M. Hutton seront, comme lui, d'avis que la Société des Ingénieurs civils a lieu d'être fière de compter parmi ses membres cet Ingénieur américain. *(Applaudissements.)*

M. LE PRÉSIDENT envoie les remerciements de la Société à M. Hutton, pour avoir enrichi la bibliothèque de cette belle collection de dessins et pnotographies.

Il est donné lecture d'une lettre de M. Gay, conseiller d'État, directeur des chemins de fer au ministère des Travaux publics, ainsi conçue :

« Paris, le 5 juin 1891.

» MONSIEUR LE PRÉSIDENT,

» A la suite d'une entente avec ceux de ses collègues qui ont égale-

» ment dans les attributions de leur département l'exécution de cons-
» tructions importantes (M. le Président du Conseil, ministre de la
» Guerre, MM. les Ministres de la Marine, de l'Intérieur, du Commerce,
» de l'Industrie et des Colonies, de l'Agriculture, des Finances), M. le
» Ministre des Travaux publics a, par arrêté du 10 avril dernier, réuni
» en conférence, sous ma présidence, des représentants des directions
» techniques des divers ministères, civils ou militaires, intéressés et, en
» outre, du ministère du Commerce, de l'Industrie et des Colonies qui
» a dans ses attributions les mesures relatives au progrès de l'industrie
» française. Cette conférence a pour but d'étudier les mesures à prendre
» pour nommer une Commission de techniciens français qui serait
» chargée de formuler les principes des règles uniformes à adopter dans
» l'essai des matériaux de construction et notamment des métaux et des
» matières d'agrégation des maçonneries.

» La nomination de cette Commission serait une première satisfac-
» tion donnée aux vœux formulés par les deux Congrès des procédés
» généraux de construction et de mécanique appliquée qui se sont tenus
» à Paris en 1889.

» D'après les instructions de M. le Ministre des Travaux publics, la
» Commission doit comprendre: 1° les spécialistes français les plus émi-
» nents en matière d'essais de matériaux; 2° des représentants des
» administrations techniques de l'État et des grandes Compagnies de
» chemins de fer; 3° des représentants de l'industrie métallurgique;
» 4° des représentants de l'industrie des constructions métalliques;
» 5° des représentants des industries des chaux, ciments, briques et
» pierres.

» Nous avons pensé, Monsieur le Président, que vous voudriez bien
» nous prêter le concours de vos lumières et de votre haute compétence
» pour faciliter à la Conférence la délicate mission dont elle est chargée;
» il nous est, en effet, malheureusement impossible d'étendre assez la
» liste des membres de la Commission pour y donner place à toutes les
» personnes qui, à des titres divers, ont acquis une compétence recon-
» nue et font autorité dans les questions d'essais ou d'emploi de maté-
» riaux de construction.

» La Commission à nommer se divisera vraisemblablement en deux
» sections qui étudieront plus spécialement, l'une les questions relatives
» à l'essai des métaux, l'autre les questions relatives à l'essai des autres
» matériaux de construction, notamment les ciments, chaux, briques
» et pierres.

» Pour la première section, nous vous serions très obligés de nous
» signaler, pour que nous les soumettions au choix du ministre, dix
» personnes particulièrement compétentes en matière de métaux et
» appartenant aux catégories désignées 1° et 4° dans l'énumération
» précédente.

» Pour la deuxième section, nous vous demanderions, aux mêmes fins,
» les noms de cinq personnes, particulièrement compétentes en matière
» de matériaux de maçonnerie et appartenant aux catégories 1° et 5° de
» ladite énumération.

» En regard de chacune des spécialités signalées par vous au choix

» du ministre, vous voudriez bien mentionner les titres qui ont motivé » son inscription sur votre liste, notamment : les travaux et mémoires » relatifs à l'essai des matériaux, les situations qu'il a occupées et celle » qu'il occupe actuellement dans l'industrie ou dans le professorat tech- » nique ou dans votre Société, etc.

» De même, nous vous serions reconnaissants d'inscrire, en regard » du nom de chacun des Ingénieurs que vous croyez pouvoir représen- » ter avec autorité les intérêts de l'industrie française des constructions » métalliques, ou de celle des chaux et ciments, ou de celle des exploi- » tants de carrières, ou de la céramique du bâtiment, les situations » que cet Ingénieur a occupées et qu'il occupe encore dans son indus- » trie et les travaux pour lesquels il s'est particulièrement distingué.

» Veuillez agréer, Monsieur le Président, l'assurance de ma haute » considération.

» *Le Conseiller d'État, Président de la Conférence,*
» GAY. »

M. LE PRÉSIDENT ajoute que la Société doit se trouver très honorée d'avoir à participer aux importants travaux d'une Commission officielle et que le Comité s'est déjà préoccupé du choix des membres à désigner à cet effet.

M. LE PRÉSIDENT annonce que nous avons à désigner les délégués de la Société au prochain Congrès de l'Association française pour l'avancement des sciences qui se tiendra cette année à Marseille. MM. Jordan, Cornuault, Herscher, Dony, d'Allest et Stapfer ont été proposés à cet effet; on ajoutera à cette liste ceux de nos collègues qui auraient l'intention d'assister au Congrès dont il s'agit.

M. LE PRÉSIDENT rappelle qu'un avis encarté dans le dernier procès-verbal a donné le programme du voyage projeté en Hollande du 30 août au 4 septembre prochain ; il invite ceux de nos collègues qui voudront faire ce voyage à se faire inscrire suffisamment à l'avance, afin qu'on puisse prendre les mesures nécessaires pour l'obtention des réductions de prix sur les chemins de fer.

M. LE PRÉSIDENT rappelle également qu'une séance extraordinaire de la Société aura lieu le 26 juin prochain et qu'elle sera consacrée à une intéressante communication de M. Bouquet de la Grye, Ingénieur hydrographe en chef de la Marine, sur le projet de *Paris-Port-de-mer*.

M. COURIOT présente à la Société deux volumes d'une publication complémentaire de la *Revue de la législation des Mines en France et en Belgique : la statistique des Houillères en France et en Belgique*, dressée sous la direction de M. Delecroix.

La statistique de 1890 contient une étude des exploitations houillères du Nord et du Pas-de-Calais et permet de se rendre compte de l'importance qu'a prise notre industrie minérale dans ce bassin, qui extrait aujourd'hui plus de la moitié de la production obtenue en France. Chacun lira avec intérêt l'historique de la formation des divers Sociétés houillères, le récit des difficultés qu'elles ont rencontrées à leurs débuts, enfin les causes de leurs progrès et de leur développement.

Dans la statistique, parue en 1891, le lecteur trouvera les mêmes renseignements concernant les houillères du bassin de la Loire, ainsi que des monographies relatives aux exploitations du couchant de Mons.

Quelques statistiques des houillères de l'étranger et de la production de nos colonies complètent cette publication dont s'enrichit la bibliothèque de la Société.

La réunion dans un même ouvrage des chiffres statistiques de la production de la houille dans le monde entier est une œuvre qui mérite d'être encouragée, et, à cet égard, il est bon de rappeler que le *Congrès international des Mines et de la Métallurgie* a exprimé, en 1889, le vœu de voir toutes les statistiques officielles établies suivant les mêmes bases afin d'en rendre les chiffres comparables, autant qu'il est possible, étant données les conditions très différentes des milieux. Puisse ce vœu être entendu ! Quoi qu'il en soit, la publication de ces documents dans notre langue est aujourd'hui assurée par l'ouvrage de M. Delecroix.

M. LE PRÉSIDENT remercie M. Couriot d'avoir analysé l'ouvrage de M. Delcroix qui sera consulté avec fruit à notre bibliothèque.

M. PETTIT, Ingénieur principal de la Compagnie générale des Eaux, donne quelques explications au sujet de la visite annoncée pour le 6 juin à l'usine de Boulogne-sur-Seine, où ont été instituées des expériences sur l'épuration des eaux de Seine par le procédé Anderson, et expose sommairement les principes de ce procédé et les résultats obtenus (1).

(1) La visite annoncée a eu lieu le 6 juin à l'heure indiquée, sous la direction de M. Boutan, Ingénieur des Ponts et Chaussées, Ingénieur-Conseil de la Compagnie, assisté du personnel technique de la Compagnie.

Les membres de la Société ont pu se rendre compte de la parfaite limpidité et de la complète transparence de l'eau épurée et les comparer avec celles de l'eau non traitée; mais cette apparence, si elle flatte l'œil, n'est pas suffisante pour renseigner sur la salubrité de l'eau; ce dernier renseignement est donné par l'analyse chimique et par l'analyse microbiologique seules.

Les renseignements fournis et les explications données sont résumés dans la notice sommaire suivante :

Dans ce procédé, on brasse avec du fer, dans un cylindre horizontal animé d'un mouvement lent de rotation et appelé revolver, l'eau à épurer, de manière que le contact du fer et de l'eau dure 3 minutes 1/2 à 5 minutes, suivant les cas; on aère ensuite cette eau et on convertit en sels de sesquioxyde de fer insolubles les sels de protoxyde qui se sont formés dans le revolver; on fait déposer par décantation la plus grande partie de ces composés insolubles et on recueille le reste dans un filtre à sable. L'eau de Seine prise à Boulogne-sur-Seine, ainsi traitée, a perdu entre 60 et 75 0/0 des matières organiques qu'elle contenait primitivement; la teneur en matière organique, dosée au permanganate de potasse en solution alcaline, n'est plus que de 1 *mg* environ par litre, c'est-à-dire inférieure à celle des meilleures eaux potables. Les matières en suspension sont retenues en totalité par le filtre; il en est, à très peu de chose près, de même des microbes dont le nombre atteint à peine cinquante par centimètre cube et est, par conséquent, inférieur à celui constaté dans les eaux de source regardées comme les plus pures (les eaux de la Vanne en contiennent, en moyenne, sept cents par centimètre cube); ce dernier résultat est obtenu grâce au feutrage gélatineux que donnent les dépôts des composés de fer insolubles et qui constitue le véritable filtre, un filtre qui agit par osmose, le sable n'agissant absolument que comme support.

On doit avoir au moins trois compartiments pour la filtration, de manière à avoir constamment deux filtres en service et un en chômage. Le nettoyage des filtres est facile, de courte durée et économique, car on n'a qu'à enlever, au moyen de rabots analogues à ceux dont on se sert pour le nettoyage des rues, la couche de sédiments qui s'est formée et la très petite épaisseur de sable qui adhère à cette couche; on n'a pas à remuer, à aérer et à laver toute la couche de matières filtrantes comme dans les filtres à sable ordinaires; enfin le filtre peut donner régulièrement 3,50 m^3 d'eau clarifiée et épurée par mètre carré de surface filtrante et par vingt-quatre heures, ce qu'on ne peut obtenir dans les filtres ordinaires qu'au grand détriment de la qualité de l'eau; avec des eaux peu chargées en matières organiques et surtout avec des eaux contenant peu de matières

M. LE PRÉSIDENT donne la parole à M. Duroy de Bruignac, pour exposer ses remarques sur *le zéro absolu et le coefficient de dilatation.*

M. DE BRUIGNAC s'exprime en substance comme il suit :

On détermine ordinairement la position du zéro absolu à 273° centigrades au-dessous de la glace fondante, en introduisant la valeur $t = -273$ dans la formule :

$$(A) \qquad pv = p_0 v_0 (1 + \alpha t),$$

dans laquelle le coefficient de dilatation α est supposé rigoureusement constant à toute température et égal à $\frac{1}{273}$.

en suspension, on peut arriver à 4 m^3 par mètre carré de filtre et par jour. Un des grands avantages du procédé est donc de diminuer de moitié environ la surface filtrante nécessaire pour un cube d'eau donné ; en outre, dans chaque filtre, l'épaisseur de la couche filtrante n'est que de 0,40 m, au lieu de 1 m, comme dans la plus grande généralité des filtres.

L'épuration est d'autant plus complète que l'aération de l'eau a été plus forte (dans les nouveaux appareils en voie de construction, l'aération se fera dans le revolver même par insufflation), et que le filtre est en fonctionnement depuis plus longtemps, est plus mûr.

Suivant la nature de l'eau, la quantité de fer dépensée varie de 3 à 6 *kg* par 1000 m^3 d'eau épurée.

Le prix de l'épuration de 1 m^3, comprenant tous frais d'amortissement du capital, de main-d'œuvre, de force motrice et d'entretien, varie, suivant les circonstances locales et la qualité des eaux, entre 0,007 *f* et 0,01 1/2 *f* par mètre cube.

L'appareil qui fonctionne à Boulogne-sur-Seine a été établi par la Société des Anciens Etablissements Cail, qui, en ce moment, en construit plusieurs, tant pour le compte de la ville de Libourne que pour le compte de la Compagnie Générale des Eaux.

Résultats des expériences (1890). — Les filtres Anderson ont été mis en service le 20 juillet, nettoyés vers le 19 septembre, et les prises d'essai suspendues vers le 21 octobre. Des échantillons ont été prélevés tous les deux jours. Les expériences ont porté sur les matières organiques, le degré hydrotimétrique, les chlorures, l'ammoniaque, les microbes.

Avant de donner les résultats, il convient d'indiquer les conditions dans lesquelles ces filtres ont fonctionné. Construits pour un service continu de 500 m^3 d'eau à filtrer par vingt-quatre heures, les filtres n'ont, en réalité, marché que douze heures sur vingt-quatre et, par conséquent, ont fonctionné d'une façon discontinue, condition très défavorable au point de vue des microbes. Le sable était un sable brut de plaine, non tamisé, sommairement lavé. La quantité de fer était à déterminer. C'est ainsi qu'en voyant la moyenne d'épuration des matières organiques baisser constamment, on a été amené à peser le fer restant, à constater une disparition considérable, à recharger l'appareil, à porter la quantité primitive de 300 à 500 *kg* et à fixer la quantité de fer à ajouter chaque mois à 50 *kg*. La moyenne a immédiatement remonté, et on a pu constater une épuration de 66 0/0. Dans ces conditions, les résultats des essais ont été les suivants :

Réduction des matières organiques. — 1re période, 42 0/0 ; 2e période, 39 0/0 ; 3e période, après addition de fer, 60 0/0. La méthode employée est celle qui est décrite dans les *Annales de l'observatoire de Montsouris ;* c'est la seule méthode qui soit reconnue donner des résultats comparables.

Degré hydrotimétrique. — Il n'est pas modifié. La méthode employée est celle de la tropéoline et de l'acide chlorhydrique titré.

Chlorures. — Aucune modification.

Ammoniaque. — La Seine n'en contient pas des quantités dosables. L'eau filtrée se trouve donc dans les mêmes conditions.

Fer. — Il ne reste pas de fer dans l'eau filtrée. La consommation moyenne a été de 6 *gr* par mètre cube.

Microbes. — Les ensemencements ont eu toujours lieu deux ou trois heures après la prise. Malgré cela la moyenne des chiffres obtenus a été de 50.

1891. — Cette année la couche supérieure des filtres a été tamisée avec soin, la quantité de fer a été maintenue constante, enfin la marche des machines a été portée de 12 heures à 16. Elle sera bientôt de 24 heures.

Mais on peut remarquer que cette même formule, traitée pareillement, place toujours le zéro absolu à 273° centigrades au-dessous du zéro de l'échelle thermométrique, quel que soit ce zéro. Or, le zéro de l'échelle étant choisi arbitrairement, et pouvant l'être, le procédé de calcul rappelé plus haut placerait le zéro absolu arbitrairement.

M. de Bruignac attribue l'anomalie qu'il signale à ce que, dans la démonstration précitée, l'emploi des valeurs négatives serait vicieux; il regarde comme erroné d'attribuer le signe négatif à une zone particulière de température, arbitrairement, indépendamment du sens des variations de température.

Pour éluder cette difficulté, on peut traiter l'expression (A) par un autre procédé algébrique, évitant l'emploi des quantités négatives.

L'expression (A) implique alors $pv > p_o v_o$; elle donne d'ailleurs :

$$p_o v_o = \frac{pv}{1 + \alpha t}.$$

Si, pour conserver $p_o v_o$ comme élément des diverses valeurs de pv, tant au-dessous de 0° qu'au-dessus, on admet, ce qui est la vérité, que

$$\text{au-dessous de } 0°,\ pv < p_o v_o$$
$$\text{au-dessus de } 0°,\ pv > p_o v_o$$

on obtient pour expression d'une valeur quelconque de la fonction générale pv, dans la formule (A) :

$$(B)\begin{cases} pv = p_o v_o\,(1 + \alpha t), \text{ au-dessus du zéro de l'échelle;} \\ pv = p_o v_o \dfrac{1}{1 + \alpha t}, \text{ au-dessous} \quad — \end{cases}$$

C'est là la manière exacte d'employer l'expression (A) dans les deux sens, sans avoir recours aux quantités négatives.

Les essais n'ont commencé que le 20 mai et n'ont porté que sur les matières organiques et les microbes. Nous donnons les chiffres tels que nous les avons obtenus :

	DATES	SEINE	FILTRES	RÉDUCTION %	OBSERVATIONS
Matières organiques (Permanganate en liqueur alcaline)	20 mai.	3,44	1,14	67	
	22 —	2,24	1,6	36	Orage violent le 21. Grande pluie, quelques débris dans le filtre.
	25 —	3,04	0,96	69	
	27 —	3,6	1,04	71	
	29 —	3,12	1,04	67	
	1er juin.	3,52	0,88	75	
	3 —	4,72	0,88	82	
	5 —	4,88	1,04	79	
Microbes.	20 mai.	830	85	»	
	22 —	2 500	72	»	
	25 —	7 200	63	»	
	27 —	3 840	33	»	
	29 —	6 420	48	»	
	3 juin.	6 000	30	»	
	5 —	1 600	50	»	

Il résulte de ces chiffres que l'épuration est plus complète qu'en 1890; nous ferons connaître ultérieurement les résultats obtenus lorsque les appareils auront fonctionné d'une manière continue.

Dans cet ordre d'idées, le seul résultat fourni par l'introduction de $t = 273°$ dans la formule (A) est :

$$(C)\begin{cases} \text{pour } t = 273° \text{ au-dessus de } 0°, & pv = 2\,p_o v_o, \\ \text{—} \qquad \text{au-dessous de } 0°, & pv = \frac{1}{2}\,p_o v_o. \end{cases}$$

On voit, par la seconde forme de l'expression (B), que $pv = o$ pour $t = \infty$.

Voici la conclusion de ce qui précède :

La formule (A), exactement traitée, place le zéro absolu à l'infini ; c'est donc là qu'il faut le voir. La détermination du zéro absolu à 273° centigrades au-dessous de glace résulte d'un procédé de calcul inexact.

Indépendamment de ce qui précède, M. de Bruignac pense que la formule (A) n'exprime pas le mieux possible la dilatation des gaz, parce qu'elle est irrégulière et ne traduit pas l'idée de coefficient constant ; tandis que la pensée que l'on veut exprimer est celle d'une évolution régulière à toute limite par coefficient constant. Ce n'est pas l'exacte vérité, mais c'est ce que l'on veut dire.

1° L'irrégularité de la formule (A) peut être mise en évidence de plusieurs manières ; en voici une :

Si l'on écrit la suite des valeurs de pv fournies par l'expression (A), de degré en degré, au-dessus et au-dessous de 0°, en fonction de $p_o v_o$, et sans signe arbitraire, il vient :

$$(D) \qquad p_o v_o \left(\dots \frac{1}{1+2\alpha}, \frac{1}{1+\alpha}, 1, (1+\alpha), (1+2\alpha), \dots \right);$$

et on remarque que ces termes forment une progression arithmétique au-dessus de 0° et non plus au-dessous, ce qui est une irrégularité. De plus, le point de cette variation est arbitraire, puisqu'il change avec le zéro, qui est lui-même arbitraire. Cette conséquence est inadmissible.

2° La formule (A), prise au-dessus de zéro, c'est-à-dire dans la partie échappant à la question des valeurs négatives, procède par différences constantes, ce qui est contradictoire à l'idée de coefficient, ou facteur, constant.

M. de Bruignac pense que l'idée de coefficient constant conduit à une expression exponentielle, telle que :

$$(E) \qquad pv = p_o v_o \,.\, \alpha^t \qquad \text{ou bien} \qquad pv = p'v' \,.\, \alpha^{t-t'}.$$

Les termes successifs de cette expression forment une progression géométrique, indéfinie dans les deux sens.

La même modification paraitrait s'appliquer utilement aux dilatations linéaire, superficielle et cubique. Au lieu de $l_t = l_o\,(1 + kt)$, on aurait $l_t = l_o k^t$; et les coefficients de dilatation linéaire et cubique seraient k^2 et k^3 *exactement*, au lieu d'être $2\,k$ et $3\,k$ *inexactement*, comme on les admet aujourd'hui.

Dans l'hypothèse de la formule (E), α se calcule avec les expériences que l'on a, que ces variations de formule n'atteignent pas. Si l'on connait, par exemple, PV, à T°, on posera :

$$(G) \qquad PV = p_o v_o N = p_o v_o \alpha^T \dots \alpha = \sqrt[T]{N}.$$

Cette valeur de α est la même, quelle que soit l'échelle thermométrique dont on fasse usage.

M. de Bruignac indique en finissant, sans s'y arrêter, que, si le coefficient de dilatation n'était pas constant, mais variait par facteur constant, on trouverait l'expression :

(H) $$p_t v_t = p_o v_o \alpha^t m^{\frac{(1+t)t}{2}},$$

dans laquelle α est un coefficient constant et m le facteur constant de correction.

Dans ce cas comme dans le précédent, α et m se calculent exactement avec toute échelle.

M. Bertrand de Fontviolant dit qu'il ne partage pas l'opinion émise par M. de Bruignac sur l'équation caractéristique des gaz

(A) $$pv = p_o v_o (1 + \alpha t).$$

Comme on le sait, cette équation qui traduit les lois de Mariotte et de Gay-Lussac, est en accord assez satisfaisant avec l'expérience.

Dès lors, il ne paraît pas possible de la remplacer, comme le propose M. de Bruignac, par la nouvelle équation

$$pv = p_o v_o \alpha^t,$$

qui, étant exponentielle par rapport à t, assigne aux trois quantités p, v et t une loi de variation toute différente de celle exprimée par l'équation (A) qui est linéaire en t.

En second lieu, pour mettre en lumière une prétendue « *irrégularité* » de l'équation caractéristique (A), M. de Bruignac écrit successivement :

$pv = p_o v_o (1 + \alpha t)$, pour les températures supérieures à 0°,

et $pv = p_o v_o \dfrac{1}{1 + \alpha t}$, pour les températures inférieures à 0°.

Cette seconde équation est en contradiction formelle avec la première; aucune transformation algébrique ne permet de faire passer du numérateur au dénominateur, le binôme $(1 + \alpha t)$.

L' « *irrégularité* » signalée n'existe pas : elle n'apparaît nullement si l'on étudie l'équation (A) d'une manière correcte, en donnant à t, dans cette équation, le signe qui convient, — positif ou négatif, selon que la température est supérieure ou inférieure à 0°.

Enfin, on ne voit pas en quoi la considération des quantités négatives dans l'étude du phénomène de la dilatation est en désaccord avec l'Algèbre, comme l'a dit M. de Bruignac qui, d'ailleurs, a introduit lui-même ces quantités dans ses formules, après les avoir proscrites de l'équation (A).

M. de Bruignac répond aux critiques de M. Bertrand de Fontviolant autant qu'il a pu les retenir à l'audition.

L'équivalent mécanique de la chaleur est hors de cause, puisque sa détermination ne dépend ni du zéro absolu, ni de sa formule. Du reste, aucune de ces déterminations n'est encore rigoureuse.

Pareillement, les lois de Mariotte et de Gay-Lussac ne sont pas atteintes, puisque toutes les formes en question sont également basées sur elles.

Les expériences n'ont pas été faites de manière à déterminer la formule; chaque valeur est la moyenne des expériences faites dans les mêmes conditions. La formule (A) paraît avoir été choisie d'emblée, comme toute naturelle. Les résultats se prêtent à l'une ou l'autre formule, puisqu'on calcule α par eux. Du reste, cette question de formule est secondaire; la principale est celle du zéro absolu.

M. de Bruignac est loin de vouloir bannir les quantités négatives, il se borne à critiquer leur emploi dans un cas particulier. — Il n'introduit pas ces quantités dans la formule (E) après les avoir chassées de la formule (A); l'exposant $t - t'$ de la formule (E) est la différence de deux températures positives, ce qui ne ressemble pas à une quantité dite négative arbitrairement; d'ailleurs, $a^{t-t'} = \frac{a^t}{a^{t'}}$.

M. de Bruignac ne voit pas pourquoi les transformations algébriques ordinaires ne pourraient pas être appliquées à la formule (A). En tout cas, si on les repousse, il resterait à expliquer le résultat auquel conduit avec la formule (A), l'hypothèse des températures négatives.

M. Bertrand de Fontviolant dit qu'il maintient les observations qu'il a eu l'honneur de présenter, les explications complémentaires de M. de Bruignac ne modifiant pas sa manière de voir.

M. Casalonga insiste pour connaître la conclusion à laquelle veut arriver M. Duroy de Bruignac et qui ne lui semble pas se dégager nettement de sa communication.

M. de Bruignac répond que ses conclusions sont les suivantes : 1° qu'il n'y a pas de 0 absolu, attendu qu'il est à l'infini; 2° que le forme de l'équation A n'est pas tout à fait satisfaisante et qu'il y a avantage à la remplacer par l'équation E si le coefficient de dilatation est constant.

M. le Président remercie M. de Bruignac et donne la parole à M. Haubtmann pour sa communication sur *l'éclairage électrique de Londres et les hautes tensions.*

M. Ch. Haubtmann rappelle qu'à la dernière séance, MM. Hillairet et Buron ont oublié de parler du prix de revient de l'énergie électrique.

M. Haubtmann dit que, très souvent, l'utilisation du courant électrique coûte plus cher que les anciens procédés.

Ainsi à Paris, l'énergie électrique est distribuée à raison de 0,12 *f* l'hectowatt, soit 0,90 *f* le cheval-heure, c'est-à-dire trois fois environ le prix d'un cheval-heure produit par un moteur à gaz.

Le Havre (1), qui est la ville la meilleur marché de France, en tant que distribution d'énergie électrique, fait payer le courant 0,08 *f* l'hectowatt aux consommateurs.

A Londres, l'unité du *Board of trade* est cotée 7 pence 1/4 (0,75 *f*). Cette unité est la quantité d'électricité nécessaire à l'allumage d'une lampe de 8 candlespower (1 carcel) pendant 29 heures; soit environ 1 500 watts-heures, Le cheval-heure électrique, à Londres, ressort donc à 0,375 *f*, c'est-à-dire encore trois fois le prix du gaz.

(1) Depuis le 1er juin 1891, la ville de Saint-Brieuc vend l'hectowatt à raison de 0,07 *f*.

C'est Fribourg qui est la ville d'Europe qui livre l'électricité à meilleur marché aux consommateurs. On a utilisé quelques chutes disponibles dans les environs en y installant des turbines commandant directement des dynamos. Le courant de ces dynamos est distribué en ville à raison de 0,10 *f* le cheval-heure pour des quantités supérieures à 20 chevaux ; 0,12 *f* pour des forces variant de 5 à 20 chevaux, et 0,15 *f* pour des puissances inférieures à 5 chevaux.

M. Haubtmann dit qu'il ne faut pas croire que c'est la différence dans le prix de revient de la force motrice qui produit ces écarts dans le prix de l'énergie électrique à Paris, Londres et Fribourg.

Le combustible, consommé dans les machines à vapeur, entre pour 0,15 *f* à Paris et 0,05 *f* à Londres dans le prix de vente du cheval-heure ; de sorte que, abstraction faite de la force motrice, le cheval-heure ressort pour

Paris à.	0,75 *f*
Londres à. . . .	0,375 *f*
Fribourg à . . .	0,125 *f*

La différence ne vient uniquement que du faible capital engagé à Fribourg, comparativement à Londres et à Paris.

Ce capital ne dépend évidemment que du système employé dans la construction des secteurs, lesquels peuvent se diviser en deux classes :

1° Secteurs à petites stations centrales urbaines ;

2° Secteurs à usines excentriques.

Le premier système est très en faveur en Amérique, quoique présentant de graves inconvénients au point de vue de l'hygiène et de la propreté des villes.

Il consiste essentiellement à répartir, à l'intérieur du périmètre de distribution, un certain nombre de petites usines, produisant le courant à basse tension, de façon à pouvoir l'utiliser sans transformation.

Il est inutile de faire remarquer combien la présence de ces usines, au centre des villes, peut être désagréable aux locaux avoisinants.

Dans le second système, on reporte la station génératrice en dehors du secteur à éclairer, dans un endroit propre à la production économique.

Les abonnés des secteurs d'électricité sont en droit de réclamer trois choses de la Compagnie concessionnaire :

1° Une grande régularité dans l'exploitation, c'est-à-dire ne jamais être privé de courant, du fait de l'arrêt des machines ;

2° Pouvoir à n'importe quel moment de la journée disposer de la quantité d'énergie qui leur convient ;

3° Autant que possible, ne pas dépenser plus qu'avec les anciens systèmes d'éclairage.

Ce qui revient, pour les Compagnies concessionnaires, à assurer la sécurité du service et à produire économiquement. La sécurité est la chose la plus importante de toutes lorsqu'on est chargé, comme les Compagnies d'électricité, d'un service public. Pour l'assurer, il n'existe qu'un moyen, c'est de disposer d'un matériel de secours suffisant.

Ce matériel peut être mécanique ou électrique. Mécanique, lorsqu'il est constitué avec des chaudières, machines à vapeur et dynamos de

rechange, prêtes à rentrer en service dès qu'il se produit une avarie à l'une des unités en fonctionnement.

Electrique, lorsqu'on emmagasine à l'avance une certaine quantité d'énergie dans des accumulateurs. Cette dernière solution permet, en outre, dans les moments où la consommation du réseau est restreinte, d'arrêter les machines et de laisser les accumulateurs fournir seuls.

L'économie de production est beaucoup plus difficile à réaliser, parce que les secteurs électriques représentent un capital énorme, dont le matériel n'est utilisé que pendant un temps très faible de la journée.

On peut diviser les installations tendant à produire économiquement, en trois catégories :

1° Installations à matériel mécanique réduit et fonctionnant pendant un temps très long de la journée ;

2° Installations tendant à réaliser des économies sur les conducteurs et opérant la distribution, soit par fils multiples, soit en série, ou par retour à la terre ;

3° Installations établies en vue de réduire à leur minimum les pertes dans les lignes.

M. Haubtmann cite les applications à Londres de ces trois procédés d'installation :

1° Matériel mécanique réduit : Compagnie de Chelsea, chargeant quatre stations secondaires d'accumulateurs, à l'aide de la station génératrice de Cadogan-Street ;

2° Distribution sur fils multiples : Compagnie de Westminster, Compagnie de Pall Mall and Saint-James's, employant les trois fils d'Edison : Metropolitan C°, faisant usage des courants alternatifs Westinghouse et transformateurs Gaulard, dont un des pôles est à la terre ;

3° Systèmes réduisant les pertes dans les lignes : London Electric Supply Corporation, employant es courants alternatifs (Ferranti) à haute tension, 10 000 volts. A propos de ce dernier procédé, M. Haubtmann fait remarquer que les principes développés par M. Deprez, en 1881, sont loin d'être des utopies et des paradoxes.

Le théorème du rendement indépendant de la distance devrait s'énoncer ainsi :

Le rendement est indépendant de la résistance totale du circuit (distance), mais la quantité de travail transmis n'est pas indépendante du temps.

M. Haubtmann reprend les exemples que M. Deprez a développés devant le Congrès de 1881.

Pour conclure, M. Haubtmann dit qu'il croit que, plus que jamais, l'avenir est aux hautes tensions ; et, étant données les nouvelles recherches faites sur les courants alternatifs et la grande facilité avec laquelle on les transforme, ce sont eux qui sont appelés à prévaloir dans un temps prochain.

M. LE PRÉSIDENT remercie M. Haubtmann de son intéressante communication et, vu l'heure avancée, remet à la prochaine séance la discussion de la communication de M. de Coëne.

La séance est levée à onze heures.

Séance du 19 juin 1891.

PRÉSIDENCE DE M. E. POLONCEAU

La séance est ouverte à huit heures et demie.

M. DE BRUIGNAC demande à dire un mot à l'occasion du procès-verbal : Il vient d'apprendre qu'aujourd'hui le haut enseignement admet complètement la proposition qu'il a cherché à démontrer dans la dernière séance, à savoir que le zéro absolu, vers — 273°, est imaginaire.

M. de Bruignac a cru convenable d'apporter ici ce renseignement.

M. BERTRAND DE FONTVIOLANT dit qu'il est d'accord avec M. de Bruignac sur ce point qu'il ne faut attacher à la notion du zéro absolu aucune signification au point de vue physique. Le choix du zéro absolu comme origine des températures n'a d'intérêt qu'au point de vue algébrique : il simplifie un peu les équations de la thermodynamique.

Mais M. Bertrand de Fontviolant n'est plus d'accord avec M. de Bruignac lorsque celui-ci affirme, ainsi que le relate le procès-verbal de la dernière séance, que le remplacement de l'équation caractéristique des gaz

$$pv = p_0 v_0 (1 + \alpha t), \tag{1}$$

par la nouvelle équation

$$pv = p_0 v_0 \alpha^t, \tag{2}$$

proposée par M. de Bruignac, laisse hors de cause l'équivalent mécanique de la chaleur.

Le raisonnement par lequel Mayer a déterminé l'équivalent mécanique, se traduit par l'équation

$$(c' - c)\, dt = \mathrm{A} p\, dv, \tag{3}$$

où :

c' et c sont les caloriques spécifiques des gaz à pression constante et à volume constant;

A, l'équivalent calorifique du travail ;

dt, la variation de température correspondant à un changement de volume dv à la pression constante p.

Cette équation, qu'on trouve dans tous les traités de thermodyna-

mique, laisse arbitraire la relation caractéristique entre la température, la pression et le volume.

Si on adopte pour cette relation la forme (1), conformément aux lois de Mariotte et de Gay-Lussac, on a :

$$\frac{dt}{dv} = \frac{p}{p_o v_o \alpha}.$$

Et l'équation (3) donne dès lors

$$(4) \qquad A = \frac{c' - c}{p_o v_o \alpha} = \left(\frac{1}{426}\right)^{\text{calories.}},$$

en remplaçant les constantes c', c, et $p_o v_o \alpha$ par leurs valeurs numériques résultant de l'expérience.

Si, au contraire, on admettait la nouvelle équation (2), proposée par M. de Bruignac, on aurait :

$$\frac{dt}{dv} = \frac{1}{(l\alpha)\, v}.$$

Et l'équation (3) donnerait cette fois :

$$(5) \qquad A = \frac{c' - c}{(l\alpha)\, pv} = \frac{c' - c}{(l\alpha)\, p_o v_o \alpha^t},$$

expression toute différente de celle (4).

Il n'est donc pas exact de dire que le remplacement de l'équation (1) par l'équation (2) ne met pas en cause l'équivalent mécanique.

Il convient de remarquer en outre que si l'on acceptait l'équation (2) de M. de Bruignac, il faudrait, comme conséquence, admettre que l'équivalent mécanique varie avec la température, suivant la formule (5), ce qui est contraire à toutes les données expérimentales.

M. Casalonga demande à son tour à présenter les observations suivantes : Après avoir, à la dernière séance, insisté auprès de M. de Bruignac, pour qu'il précisât les conclusions qu'il prétendait tirer de son exposé, il lui avait fait remarquer que la valeur α intervenait dans le mode de détermination de l'équivalent mécanique de la chaleur, et que ce serait mettre en doute la valeur de cet équivalent que de contester celle de α. Il rappelle que ce mode de détermination a été présenté, entre autres, par le regretté savant J. Bourget.

D'après le procès-verbal, cette remarque semble avoir été faite par M. Bertrand de Fontviolant, puisque c'est à lui, dit M. Casalonga, et non à moi, que répond M. de Bruignac, en disant, de l'équivalent mécanique, qu'il n'est pas en cause. M. de Fontviolant a pris ce soir l'observation et la réponse pour son compte, et cela nous a valu l'élégante démonstration par laquelle vous venez de voir que l'équivalent mécanique n'est pas du tout hors de cause, comme le disait M. de Bruignac.

M. Casalonga présente encore cette observation : La deuxième forme de l'équation (B) de M. de Bruignac ne peut être $pv = p_o v_o \frac{1}{1 + \alpha t}$, et, par suite, la série (D) ne peut pas subsister. Considéré au-dessus du zéro centigrade, le phénomène donne lieu à $pv = p_o v_o (1 + \alpha t)$; con-

sidéré au-dessous, il donne lieu à $pv = p_o v_o (1 - \alpha t)$, ainsi que M. de Fontviolant l'a justement dit. Mais ce qu'il faut aussi remarquer, c'est qu'il en résulte : non pas $t = -\frac{1}{\alpha} = -273$, comme cela est même indiqué dans certains traités de physique, mais $t = \frac{1}{\alpha} = 273$. Ainsi, la valeur du zéro dit absolu est une quantité positive par cela même ; et en écrivant — 273°, on veut simplement dire : 273° au-dessous du zéro centigrade. Ce point est à noter, d'autant que le zéro dit absolu est une quantité physique importante qui a donné lieu, en thermodynamique, à bien des erreurs.

Quant à la limite du zéro absolu, aucune considération ne semble s'opposer à ce qu'elle soit placée à l'infini. M. Casalonga en avait exprimé l'opinion déjà, tant devant la Société qu'au dernier Congrès de l'Association française pour l'avancement des sciences, à Limoges. Toutefois, cette notion ne lui semble pas pouvoir être déduite de la deuxième forme de l'équation (B), laquelle, manifestement, n'exprime pas le phénomène physique qu'il s'agit d'étudier ; avec $t = \infty$ elle conduit bien à $pv = o$; mais, algébriquement et par hypothèse, $pv = o$ dès le zéro dit absolu. D'autre part, le résultat du phénomène ne peut pas être zéro pour aucune valeur de t, puisque v est une quantité réelle ayant toujours une certaine valeur, un gaz liquéfié occupant toujours un certain volume.

M. de Bruignac dit qu'il ne discutera pas le calcul de M. de Fontviolant ; il se bornera aux observations suivantes :

M. de Bruignac n'a pas présenté les deux équations

(A) $$pv = p_o v_o (1 + \alpha t)$$

et

(E) $$pv = p_o v_o \alpha^t$$

comme équivalentes, mais comme différentes. Il n'est donc pas surprenant qu'elles donnent des résultats différents.

Il a dit que l'équation (E) était juste si le coefficient de la fonction était constant, mais il ne l'est pas ; il est donc naturel que l'équation (E) donne un résultat inexact.

M. de Fontviolant vient de reconnaître que le zéro absolu dont il s'agit est imaginaire. Si donc on s'est servi de ce zéro pour formuler l'équivalent mécanique de la chaleur, c'est à titre de conception auxiliaire physico-algébrique, comme on le fait encore en thermodynamique pour simplifier les formules, non à titre de réalité. M. de Bruignac avait donc raison de dire qu'en combattant le zéro absolu, qui est imaginaire, on ne peut pas atteindre l'équivalent mécanique, qui est réel. Le zéro et l'équivalent ne peuvent être liés que dans la forme, ils ne sauraient l'être au fond.

M. le Président fait observer qu'à propos du procès-verbal, on rentre dans le vif de la question, qu'on pourrait encore discuter pendant plusieurs séances ; mais qu'actuellement il ne peut être question que d'ob-

servations sur le procès-verbal. Il propose que la question soit de nouveau mise à l'ordre du jour d'une séance ultérieure, mais qu'actuellement on s'en tienne strictement aux observations sur le procès-verbal.

M. LE PRÉSIDENT donne la parole à M. le Secrétaire pour la lecture d'une lettre de M. Pourcel :

« 3 juin 1891.

» MONSIEUR ET CHER PRÉSIDENT,

» Je n'ignorais pas les circonstances que M. Lencauchez évoque à » propos des travaux de M. Le Chatelier; les faits qui s'y rapportent » ont été exposés par le Dr W. Siemens lui-même, dans l'historique » qu'il fit de ses recherches personnelles sur l'acier à la Société Chi- » mique de Londres, en 1868. En voici le résumé :

» Dans le courant de l'année 1863, M. Le Chatelier, inspecteur géné- » ral des Mines, porta son attention sur le four Siemens chauffé au gaz » et à chaleur régénérée, et il suggéra l'idée de s'en servir pour pro- » duire l'acier sur sole en utilisant la *bauxite* comme garnissage. » MM. Boigues-Rambourg et Cie prirent un brevet pour la mise en pra- » tique de cette idée; et leur brevet plaçait sous une même garantie » l'œuvre collective de M. Le Chatelier et de son ami, le Dr W. Sie- » mens, pour obtenir sur sole l'acier, au moyen d'un mélange de fonte » et de scraps, ou bien de fonte et de minerais.

» Ce fut sous la direction de M. Otto Siemens, frère du Dr W. Sie- » mens, que se firent à Montluçon, pendant l'été de 1863, les essais dans » un four construit sur les plans du Dr Siemens. On obtint de l'excel- » lent acier. Mais une nuit, la voûte du four s'effondra dans le bain, » et cette malheureuse circonstance découragea MM. Boigues-Rambourg » et Cie au point de les faire renoncer à leur entente en commun avec » MM. Le Chatelier et W. Siemens.

» Comment supposer que si les expériences faites à Montluçon avaient » fourni un résultat pratique, le Dr W. Siemens ne l'aurait pas mis à » profit immédiatement, au lieu de dépenser son activité et son argent » à poursuivre ses essais pendant quatre à cinq ans encore avant d'en » faire servir les résultats à la création d'une grande industrie? Ne » vaut-il pas mieux, plutôt que de nous dépenser en inutiles revendi- » cations, user d'un silence discret autour de certaines circonstances » qui, pour exalter plus ou moins à propos notre esprit génial, ne font » que plus péniblement ressortir notre manque de persévérance et de » foi?

» Quant aux observations de M. Lencauchez touchant l'introduction » et la présence du chrome dans les aciers, j'avais cru les prévenir par » ma digression sur ce sujet pendant la lecture de mon travail. Cette » digression, si M. Lencauchez veut bien s'en souvenir, rappelait l'em- » ploi fait depuis longtemps déjà, dans les usines de la Loire, du ferro- » chrome pour élever la résistance des aciers, et mentionnait spéciale- » ment les travaux classiques de l'usine Jacob Holtzer, dirigée par notre » collègue, M. Brustlein.

» Du reste, M. Lencauchez pourra voir que, dans mon mémoire, je » mentionne également que mon ami, le professeur Edward Riley, de

» Londres, avait mis en pratique, depuis 1886, l'emploi du ferro-chrome » aux usines de Brymbo, mais que le prix élevé de cet alliage en avait » fait abandonner l'usage pour lui substituer celui de la récarburation » par le procédé Darby.

» L'alliage du ferro-chrome à 60 0/0 de Cr se vend à plus de 2 000 *f* » la tonne pris à l'usine ; son emploi n'est donc pas économique appli- » qué à des produits — cornières ou tôles — dont le prix varie entre » 150 *f* et 170 *f* la tonne en Angleterre.

» Mais ce que j'ai tenu à faire ressortir de l'emploi de la sole neutre, » c'est que la matière qui entre dans l'entretien du laboratoire du four, » au lieu d'être, comme la dolomie ou la magnésie, incorporée dans la » scorie, l'est principalement dans le métal. Et cet avantage n'est pas » plus discutable que celui qui résulterait de l'introduction du manga- » nèse dans l'acier par le minerai même, au lieu du ferro-manganèse. » si cela était praticable au prix même d'un déchet de 50 à 60 0/0. Du » reste, quand on veut éviter l'incorporation du chrome dans le métal, » on n'a qu'à faire la réparation de la sole neutre avec du calcaire seul » employé en couche un peu plus épaisse qu'à l'ordinaire.

» Il ne sera peut-être pas indifférent à M. Lencauchez de savoir qu'on » a fabriqué sur sole neutre des aciers pour fils de télégraphe qui don- » naient à l'analyse :

» C = 0,095 Ph = 0,02 S = 0,024

» et, aux essais de traction sur barrette de 8″ découpée dans une billette » de 4″ de section :

» Limite élastique . . 15,3 *t* ou 23,5 *kg* par millimètre carré.
» Résistance. . . . . 21,2 *t* ou 33,2 *kg* —
» Allongement . . . 30,6.
» Réduction. . . . . 76 0/0 de la section primitive.

» Le métal ne renfermait que 0,25 de Mn, et on l'avait coulé avec » une addition de 0,08 d'aluminium. Quant à l'inconvénient attribué » au chrome d'empêcher le soudage, aux doses de quelques millièmes, » je le crois mal fondé après les essais subis à la forge avec succès, par » les cornières et fers à T, faits avec du métal fabriqué sur sole neutre.

« Alexandre Pourcel. »

M. le Président donne ensuite la parole à M. le Secrétaire pour la lecture d'une lettre de M. Paul Charpentier en réponse aux observations présentées par M. Jordan, à la dernière séance :

« Paris, 18 juin 1891.

» Monsieur le Président et cher Collègue,

» A la suite de la lettre que j'ai eu l'honneur de vous adresser le » 14 mai dernier, M. Jordan a cru devoir présenter plusieurs observa- » tions, qu'à regret je suis obligé de contredire dans l'intérêt de la » vérité historique et de l'autorité même dont jouissent les Bulletins de » notre Société.

» J'ai affirmé, et j'affirme, qu'en 1867 (je précise, pendant les mois de » janvier et février), M. A. Bérard a fabriqué aux forges de Montataire

» plusieurs tonnes d'acier fondu sur sole entièrement composée de chaux
» magnésienne et de goudron de gaz. Cette chaux provenait de calcaires
» dolomitiques.

» Les fontes employées étaient en majeure partie phosphoreuses.

» Nul mieux que moi n'en peut témoigner, car j'ai suivi toutes les
» opérations d'A. Bérard, à Montataire, pendant deux années consé-
» cutives.

» Les aciers obtenus étaient d'*excellente qualité*. Soumis par nous à
» une série de fontes, refontes, trempes et recuits successifs et répétés,
» dans certaines conditions d'expérience que je n'ai pas à détailler ici,
» ces aciers ont atteint comme densité maximum, à la température de
» 0° centigrade, la valeur 8,97; j'avais écrit 9 en nombre rond.

» Il n'y a d'ailleurs là rien de bien étonnant. Percy, t. IV, p. 291,
» parle d'un acier refondu dont la densité s'élevait à 8,092 à 11°, soit
» 8,093 environ à 0°.

» Ces expériences et ces essais très délicats ont été répétés en présence
» de l'éminent professeur de l'École des Mines, M. Gruner, qui les a
» contrôlés.

» Enfin, il est bien certain que le rosex stahl est parfaitement in-
» connu; mais presque tous les métallurgistes ont certainement vu qu'il
» y avait là une faute d'impression. Il faut lire rosen stahl, et cet acier-là
» est, je le pense, bien connu de tous les métallurgistes. (Percy, t. IV,
» p. 199.)

» Veuillez agréer, Monsieur le Président et cher Collègue, l'expres-
» sion de mes sentiments très dévoués et très distingués.

» PAUL CHARPENTIER. »

M. E. GRUNER demande à ajouter un mot, puisque M. Charpentier invoque le témoignage de son père, M. le professeur Gruner.

Il sait, en effet, que son père avait suivi avec un vif intérêt les recherches de M. Bérard; mais il ne croit pas qu'on puisse en dire plus. D'ailleurs, il suffit, pour connaître son opinion sur le procédé Bérard, de se reporter au travail qu'il publia, dans l'automne 1867, sur *l'Acier et sa fabrication* (pages 63 et suivantes), et où il élevait des doutes très nets sur les résultats à espérer de ce procédé, après avoir suivi les essais mêmes qu'invoque M. Charpentier.

M. LE PRÉSIDENT donne la parole à M. le Secrétaire, pour lire une lettre de M. le Ministre du Commerce :

« Paris, le 10 juin 1891.

» MONSIEUR LE PRÉSIDENT,

» Pour permettre à un certain nombre d'élèves de nos Écoles Indus-
» trielles de compléter leur instruction, mon Département a constitué
» depuis trois ans des bourses de voyage.

» Ces bourses, qui sont données au concours, ont une valeur variable
» de 1 500 à 3 000 *f*, suivant l'importance et la durée du voyage, et elles
» peuvent être renouvelées une fois ou deux fois au maximum.

» J'ai l'honneur de vous faire connaître qu'un concours aura lieu
» cette année pour l'allocation des bourses vacantes. Ce concours, con-

» formément au règlement dont vous trouverez ci-joint un exemplaire, » comprendra des épreuves orales et des épreuves écrites. Les épreuves » écrites auront lieu au chef-lieu de chaque département, le 12 octobre, » et les épreuves orales, dans la première quinzaine de novembre.

» Je vous serai obligé, Monsieur le Président, de vouloir bien donner » connaissance de ces dispositions aux membres de la Société des Ingé- » nieurs civils.

» Recevez, etc. »

M. LE PRÉSIDENT a le regret d'annoncer le décès de M. Ch. Mlodecki, ancien élève de l'École Centrale, de la promotion de 1866. Il était membre de la Société depuis 1885, avait participé aux travaux du Canal de Suez et poursuivi d'importantes études d'amélioration de divers ports en Russie. Il était représentant de la maison H. Satre, constructeur de matériel de dragage et de navigation.

M. LE PRÉSIDENT est heureux d'annoncer que M. Ch. Mardelet a été nommé officier d'Académie.

M. LE PRÉSIDENT rappelle que, le 26 juin, il y aura une séance supplémentaire, dans laquelle M. Bouquet de la Grye développera le projet relatif à Paris port de mer.

M. LE PRÉSIDENT dépose sur le bureau la liste des ouvrages reçus depuis la dernière séance, liste publiée à la suite du présent procès-verbal.

M. LE PRÉSIDENT donne la parole à M. le Trésorier, pour l'exposé de la situation financière de la Société.

SITUATION FINANCIÈRE AU 1er JUIN 1891

Nombre des Sociétaires.

Le nombre des Sociétaires était, au 30 novembre 1890, de . .	2 294
Au cours du 1er semestre 1891, les admissions de membres se sont élevées à	84
formant un total de	2 378
L'ensemble des décès, démissions ou radiations, monte à	44
Le total des membres de la Société est ainsi, à la date du 1er juin 1891, de	2 334

Situation de la caisse au 1er juin 1891.

Le mouvement de la caisse, tel qu'il résulte du tableau annexé au compte rendu financier, peut se résumer de la manière suivante :

Le solde en caisse, à la date du 30 novembre 1890, était de Fr.	18 068,20
Les recettes effectuées depuis cette date jusqu'au 31 mai 1891 se sont élevées :	
A reporter. . . . Fr.	18 068,20

Report . . Fr.			18 068,20

RECETTES

1° Pour le fonds courant :

Cotisations . . . . . Fr.	24 663,25		
Droits d'admission	2 150 »		
Intérêts des valeurs de portefeuille	3 281,54		
Vente de Bulletins et Mémoires; Abonnements et Annonces . .	4 133,82		
Locations des salles de séances de la Société	4 599 »		
Recettes diverses	834,85		
		39 662,46	

2° Pour le fonds inaliénable :

Cinq exonérations : MM. R. Abt, A. Boivin, J.-A. Delacourtie, J.-L. Kister et G.-N. Renaudin.		3 000 »	
Le total des encaissements du semestre est ainsi de . . . . . Fr.		42 662,46	42 662,46
et le montant des recettes effectuées au 1er juin 1891, grossi de l'encaisse au 1er décembre 1890, s'élève à. Fr.			60 730,66

DÉPENSES

Par le fonds courant :

Impressions, planches et croquis. . . . . Fr.	8 166,85		
Affranchissements divers.	3 847,87		
Appointements, chronique et divers.	9 889,30		
Frais de bureau, de sténographie et de séances.	2 050,35		
Prêts et secours.	797 »		
Contributions, entretien de l'immeuble . . .	2 605,74		
Entretien et frais de la cité, éclairage, chauffage, etc.	2 498 »		
Bibliothèque : matériel et achats divers . . .	2 156,15		
Pension de Mme Ve Husquin de Rhéville. . .	1 500 »		
Gratifications, souscriptions, etc.	2 262,74		
Frais de recouvrement des cotisations. . .	287,65		
Coupons échus 1890.	70,50		
Bons remboursés sortis en 1890.	1 000 »		
			37 132,15
Le solde en caisse, à la date du 1er juin 1891, est ainsi de Fr.			23 598,51

L'examen de ces chiffres n'appelle aucune observation particulière.

Le Bilan, au 31 mai 1891, présenté dans la forme habituelle, peut donc se résumer comme suit :

A l'ACTIF sont inscrits :

L'Hôtel de la Société, pour	Fr.	279 602,20
Notre portefeuille, représenté par 465 obligations du Midi, six titres de rente formant ensemble 285 *f* de rente 3 0/0 (valeur d'entrée)		188 051,79
Les espèces en caisse.		23 598,51
Les achats d'ouvrages, de meubles et de matériel pour la bibliothèque depuis 1888.		8 404,65
Nos débiteurs divers et les cotisations arriérées au 31 mai 1891		10 168 »
TOTAL.	Fr.	509 825,15

Au PASSIF sont portés :

Nos créanciers (pour impressions et travaux divers). .	Fr.	14 460,91
Les prix divers (échus ou en cours), s'élevant à.		7 688,14
Le compte « Fonds de secours » épuisé pour le 1er semestre		*Mémoire*
Le montant des dons et exonérations, qui grossira d'autant le fonds inaliénable.		4 887,72
Notre emprunt de 1889 représenté par { Bons en remboursement. . .		6 850 »
{ Solde à amortir.		44 850 »
Les intérêts à servir sur les Bons de l'emprunt.		2 412 »
L'Avoir de la Société ressortant à.		428 676,38
CHIFFRE ÉGAL.	Fr.	509 825,15

Notre avoir au 31 mai a donc augmenté dans le courant du 1er semestre de 5 810,52 *f*, il était, en effet, au 30 novembre dernier de 422 865,86 *f*. Aussi peut-on en conclure que notre situation financière est satisfaisante.

Six Bons de notre Emprunt de 1889, correspondant à une augmentation d'actif de 300 *f* nous ont été abandonnés au cours du semestre par quatre de nos collègues : MM. Freund, Blazy, Th. Dubois et Bonpain, auxquels j'exprime ici toute notre reconnaissance pour leur généreuse donation.

Je dois vous rappeler que nous avons formé une demande en délivrance du legs de 20 000 *f* qui nous a été fait par notre ancien collègue, M. A. Meyer ; mais Mme Ve Nelson, sœur du défunt, qui est à la fois exécutrice testamentaire et usufruitière, se refuse à nous délivrer ce legs. Une instance est introduite pour obtenir une solution conforme à la volonté du testateur.

En ce qui concerne le legs Fusco, nous avons perdu notre procès en première instance par suite d'une interprétation stricte donnée à un point de droit pur, dont la jurisprudence n'est pas encore établie.

D'accord avec l'Association amicale des anciens Élèves de l'École centrale, votre Comité a décidé d'aller en appel et d'épuiser, au besoin, toutes les juridictions pour arriver à ce que les volontés si formellement exprimées à plusieurs reprises par notre regretté collègue Geyler et par sa sœur, Mme Fusco, reçoivent leur pleine et entière exécution, et comme suite à la première décision du Conseil d'Etat, qui nous a autorisés à recevoir purement et simplement le legs qui nous était fait.

En résumé, Messieurs, notre situation financière et l'augmentation toujours croissante de l'avoir de notre Société nous mettent en mesure de rembourser une notable partie de notre Emprunt.

Nous vous proposons, en conséquence, d'affecter à son amortissement une somme de 7 350 *f* et de procéder par suite au tirage au sort de 147 Bons de 50 *f* dont le remboursement aura lieu à partir du 1er juillet prochain.

Ce nouvel amortissement allégera notre dette de. . . . Fr.	7 350
les Bons remboursés antérieurement ou en remboursement s'élevant à	12 750
et les abandons de Bons faits par divers souscripteurs représentant, à ce jour, une somme totale de	17 400
le 1er juillet prochain, l'emprunt de 1889 se trouvera ainsi réduit de . . . . . Fr.	37 500

c'est-à-dire que, dans l'espace de deux années, notre dette de 75 000 *f* aura été ramenée à la moitié de sa valeur originaire.

C'est par cette remarque que je veux clore ce rapport financier :

Une Société qui, en deux ans, a recueilli 17 000 *f* de dons et qui a prélevé 20 000 *f* sur ses économies pour rembourser sa dette, une Société, en un mot, qui a pu éteindre, en deux ans, la moitié d'un Emprunt qui ne devait être remboursé que dans une période de quinze années, est une institution dont je n'ai pas besoin d'exalter la situation financière ; un pareil résultat se passe de commentaire, il témoigne hautement en faveur de la vitalité et de la prospérité de la Société des Ingénieurs civils. *(Applaudissements.)*

BILAN AU 31 MAI 1891

ACTIF

Immeuble :		
a. Terrains et frais . . . . . Fr.	86 223,90	
b. Constructions et frais	150 814,65	
c. Mobilier et frais d'installation	42 563,65	
		279 602,20
Fonds inaliénable :		
a. Fonds social, 100 obligations du Midi	41 095,15	
b. Legs Nozo 19 » »	6 000 »	
c. Legs Giffard 131 » »	50 372,05	
d. Fonds Michel Alcan (fondation E. Simon). . .	3 730 »	
e. Fonds Coignet (fondation famille Coignet) .	4 285 »	
f. Fonds Couvreux (fondation famille Couvreux), 11 obligations du Midi.	4 857,75	
g. Don anonyme	6 750 »	
		117 089,95
Fonds courant :		
204 Obligations du Midi.		70 961,84
Caisse :		
Solde disponible		23 598,51
Bibliothèque :		
Meubles, matériel, volumes achetés, etc. (depuis 1888) . . .		8 404,65
Débiteurs :		
a. Débiteurs divers		200 »
b. Cotisations 1890 et années antérieures dues (après 50 0/0 de réduction)		2 600 »
c. Cotisations 1891 (solde restant à payer sur les cinq premiers mois).		7 368 »
Fr.		509 825,15

PASSIF

Créditeurs divers :		
a. Chaix, travaux exécutés et en cours . Fr.	9 853,10	
b. Courtier	2 075 »	
c. Mémoires et travaux divers.	2 532,81	
		14 460,91
Prix divers :		
a. Prix Nozo (échu Fr. 829,20 + Fr. 136,80 en cours)	966 »	
b. Prix Giffard.	5 649,94	
c. Prix Michel Alcan.	260 »	
d Prix Coignet	337,50	
e. Prix Couvreux	74,70	
f. Prix annuel	400 »	
		7 688,14
Fonds de secours (dotation semestrielle), épuisé.		*Mémoire.*
Valeurs à consolider :		
Somme à porter au Fonds inaliénable, après remploi.	1 887,72	4 887,72
Exonérations du 30 novembre 1890 au 31 mai 1891	3 000 »	
Coupons échus (1890) restant à payer		1 066,50
Coupons à échoir 1er juillet 1891		1 345,50
Emprunt. (75 000) *a.* Bons abandonnés . .	(17 400 »)	
b. Id. remboursés et amortis . . .	(5 900 »)	
c. Id. en remboursement	6 850 »	6 850 »
d. Solde restant dû . .	44 850 »	44 850 »
Profits et pertes :		
Avoir de la Société		428 676,38
Fr.		509 825,15

COMPTE DES RECETTES ET DÉPENSES

Du 1er Décembre 1890 au 31 Mai 1891.

RECETTES

En caisse au 30 novembre 1890.	Fr.	18 068,20
1° Pour le fonds courant :		
Cotisations 1890 et antérieures ; cotisations 1891 Fr.	24 663,25	
Droits d'admission.	2 150 »	
Location des salles de séances	4 599 »	
Abonnements, annonces, ventes de Bulletins . . .	4 133,82	
Intérêts des valeurs en portefeuille.	3 281,54	
Recettes diverses.	834,85	
2° Pour le fonds inaliénable :		
Exonérations. . . . . Fr.	3 000 »	
TOTAL des recettes effectuées du 30 novembre 1890 au 31 mai 1891	42 662,46	42 662,46
	Fr.	60 730,66

DÉPENSES

Par le fonds courant		
Impressions, Planches et croquis. . . . . Fr.	8 166,85	
Affranchissements et expédition des publications. .	3 847,87	
Appointements, chronique et divers.	9 889,30	
Frais de bureau, de sténographie et de séances . .	2 050,35	
Contributions et Entretien de l'immeuble	2 605,74	
Entretien et frais de la cité, éclairage, chauffage, etc.	2 498 »	
Bibliothèque, matériel, reliure et achats divers . .	2 156,15	
Prêts et secours.	797 »	
Pension de Mme veuve Husquin	1 500 »	
Gratifications, souscriptions, etc.	2 262,74	
Frais de recouvrement des cotisations.	287,65	
Bons remboursés (tirage de 1890)	1 000 »	
Coupons payés (échus en 1890)	70,50	
TOTAL des sommes employées au 31 mai 1891 Fr.	37 132,15	37 132 15
Solde disponible au 31 mai 1891.		23 598,51
	Fr.	60 730,66

M. LE PRÉSIDENT met aux voix l'approbation des comptes présentés par M. le Trésorier, pour l'exercice écoulé.

Il constate que les comptes sont approuvés à l'unanimité.

M. LE PRÉSIDENT propose de voter des remerciements à M. le Trésorier qui, par son dévouement constant aux intérêts de la Société, est arrivé à des résultats si satisfaisants. *(Applaudissements.)*

M. LE PRÉSIDENT invite l'assemblée à nommer un scrutateur pour le tirage au sort de 147 Bons. M. Thomas est désigné pour faire cette opération avec M. le Trésorier.

Il est procédé au tirage des Bons.

M. LE PRÉSIDENT donne communication des numéros des Bons de l'Emprunt de 75 000 *f* sortis au tirage et qui sont remboursables à partir du 1er juillet 1891; leur montant, ainsi que la valeur des Bons sortis au précédent tirage, sont tenus à la disposition des membres de la Société. Ces numéros sont les suivants :

46	248	465	693	782	1002	1161	1235	1401
47	279	495	702	783	1013	1164	1237	1404
48	300	497	707	791	1028	1169	1243	1409
77	307	501	709	852	1029	1172	1265	1410
105	329	506	711	853	1036	1174	1267	1411
108	336	524	712	866	1055	1180	1278	1412
109	339	541	729	900	1062	1182	1290	1420
162	369	550	731	903	1079	1191	1303	1422
167	379	563	742	919	1114	1204	1314	1440
170	380	582	752	921	1118	1208	1333	1441
177	382	607	753	925	1127	1217	1352	1463
204	393	611	762	932	1132	1220	1355	1470
214	412	617	768	936	1140	1222	1388	1475
232	427	633	771	938	1143	1224	1391	1485
233	434	635	772	940	1144	1229	1392	1492
234	455	653	779	960	1153	1234	1400	1493
238	457	669						

Liste des Bons sortis au tirage du 20 juin 1890 et restant à rembourser :

79	283	423	643	738	854	937	1082	1308
85	297	436	647	740	855	953	1090	1346
138	311	441	652	763	857	954	1098	1365
165	313	466	675	766	859	962	1101	1402
176	316	494	677	769	861	997	1141	1408
206	352	496	685	770	862	999	1190	1426
208	355	511	687	774	880	1012	1207	1429
215	358	535	690	780	883	1019	1212	1466
217	381	540	695	781	890	1023	1213	1471
244	387	544	703	797	892	1027	1221	1473
249	390	549	724	798	895	1042	1263	1477
253	395	562	725	799	896	1044	1272	1482
255	418	595	726	836	898	1050	1302	1487
256	421	597	727	848	907	1053	1306	1494
280	422	642	728	851	931	1054	1307	

M. LE PRÉSIDENT prend ensuite la parole en ces termes :

MES CHERS COLLÈGUES,

Nous avons cette année, comme l'année dernière, deux prix à décerner :

Le prix annuel,
Le prix Nozo.

Le prix annuel, d'après son règlement, doit être décerné à l'auteur du meilleur mémoire déposé avant le 31 décembre de chaque année.

Conformément à ce même règlement, les divers mémoires ont été étudiés par nos diverses sections, et la commission, composée des présidents de section, que j'ai eu l'honneur de présider, après un examen détaillé des diverses propositions et une discussion très complète, a été d'avis de décerner le prix annuel à M. Normand pour son mémoire : ***La Machine à vapeur dans les torpilleurs.***

La Société a été heureuse de couronner en son auteur l'Ingénieur qui a consacré sa vie à des travaux de la plus haute importance pour la gloire du génie civil. *(Applaudissements.)*

Le prix Nozo, comme vous le savez, messieurs et chers collègues, est décerné tous les trois ans à l'auteur du plus important travail fourni pendant la période des trois années ***dans les questions dont s'occupe la Société.***

La commission, composée du Président, des Vice-Présidents, des trois membres titulaires et des trois membres supplémentaires que vous avez nommés dans la séance du 6 février, s'est réunie plusieurs fois et s'est livrée à des travaux très considérables ; ce n'étaient pas les mémoires méritant le prix qui manquaient, bien au contraire ; enfin, après un consciencieux examen, votre commission a décerné le prix à MM. Lencauchez et Durant pour leur ***Mémoire sur la production et l'emploi de la vapeur.***

Ce mémoire, qui est le fruit de longues années d'études, de recherches, d'expériences pratiques, constitue un travail d'ensemble important qu'il était juste de récompenser.

En décernant ce prix à MM. Lencauchez et Durant, vous pouvez être sûrs, messieurs et chers collègues, d'avoir bien compris le but de notre regretté et éminent collègue Nozo, car cette question est certes bien de celles dont s'occupe notre Société, et s'il était encore parmi nous il joindrait certainement ses félicitations aux nôtres sur un sujet qui lui était cher. *(Applaudissements.)*

M. LE PRÉSIDENT donne la parole à M. Henri Chevalier sur le *Sondeur Belloc.*

M. H. CHEVALIER dit que les études de M. Belloc sur les lacs des Pyrénées l'ont conduit à faire construire pour ses sondages dans les montagnes un appareil à la fois léger et précis. Cet appareil, construit sur ses plans, ne pesait que 4 *kg* et permettait de sonder jusqu'à 250 *m* de profondeur. L'expérience acquise avec ce petit appareil, qui lui a servi à exécuter plus de 3 000 sondages, lui a permis d'en combiner un plus robuste, du poids de 20 *kg*, destiné aux sondages profonds, aux sondages

sous-marins. Deux de ces instruments sont actuellement construits, l'un est destiné à la *Princesse-Alice*, le nouveau yacht de S. A. le Prince de Monaco, l'autre appartient à M. Delebecque, Ingénieur des Ponts et Chaussées, à Thonon.

M. Chevalier donne une description succincte de ces deux appareils, qui sont semblables.

Deux flasques en bronze solidement entretoisés sont fixés sur une planche formant le fond de la caisse de transport ; ces flasques portent les axes de trois poulies à gorge et du tambour destiné à l'enroulement du fil ; à l'avant, une bigue avec une quatrième poulie ; à l'arrière, un frein et une roue à rochet ; enfin, sur le côté, un compteur donnant par une simple lecture la profondeur à laquelle la sonde est arrêtée.

Le déroulement du fil pouvant se faire avec une vitesse de 4 ou 5 *m* par seconde, le passage du fil sur les poulies à gorges a été combiné en vue d'éviter les glissements, surtout sur la poulie commandant le compteur ; cette poulie est presque complètement entourée par le fil qui se trouve tendu par la poulie inférieure. A cet effet, cette poulie est montée sur un levier articulé en avant sur le bâti et maintenu à l'arrière par un ressort à boudin dont la tension est réglée par le frein à lame. Le levier forme auget afin que l'on puisse faire tremper le fil dans un bain de pétrole, d'huile minérale ou de carbonate de chaux, pour empêcher l'action oxydante de l'eau de mer. La troisième poulie montée sur le bâti est folle sur son axe et peut se déplacer parallèlement à elle-même, afin de faciliter l'enroulement du fil sur le tambour. Le tambour est en fonte, calé sur l'arbre de la manivelle, il porte une gorge pour le frein à lame et une roue à rochet qui permet d'arrêter la sonde à une profondeur quelconque.

Enfin, la bigue, terminée par une poulie à gorge, se démonte en deux parties pour le transport et tourne autour d'un axe vertical, qui la relie au bâti, afin d'être amenée à l'intérieur du bateau pour attacher le poids de sonde ou les instruments spéciaux. Un galet roulant sur une circulaire fixe soulage l'axe de la bigue, que l'on peut arrêter dans une direction déterminée au moyen d'une cheville.

Dans le prolongement de l'axe de rotation de la bigue se trouvent deux galets garnis de feutre servant à essuyer le fil à la remonte et en même temps à le guider lorsque la bigue est dans une position oblique par rapport à l'appareil.

La sonde étant amenée au niveau de l'eau et le compteur mis au zéro, on serre le frein, puis on lève le cliquet de la roue à rochet et au moyen de la manette à ressort du frein on règle la descente du poids. Une fois la descente commencée, on fixe la manette à un cran du secteur disposé à cet effet et le ressort à boudin qui actionne à la fois le frein à lame et le levier de la roue à auget sert de régulateur jusqu'à ce que la sonde touchant le fond, le frein se serre automatiquement, il ne reste plus qu'à lire sur le compteur la profondeur à laquelle on est arrivé. La vérification se fait d'elle-même : en remontant la sonde, le compteur doit revenir à zéro s'il n'y a pas eu glissement.

Le bâti, la bigue et les poulies à gorge sont en bronze, tous les axes

sont en acier, le tambour est en fonte et de dimensions suffisantes pour recevoir 1 100 *m* de fil d'acier de 8 /10e ou 2 000 *m* de fil de 5/10e.

En supposant une résistance à la rupture de 150 *kg* par millimètre carré et un coefficient de sécurité de 1/5, le fil de 5/10e ne devra pas supporter plus de 7 *kg* de charge totale. Or, 2 *km* de fil immergé pèsent environ 3,5 *kg*, il restera donc 3,5 *kg* pour le poids de sonde ou les appareils. Avec le fil de 8/10e, dont on n'enroule que 1 100 *m* sur le tambour, on peut atteindre 10 *kg* pour le poids de sonde, tout en restant dans les mêmes conditions de résistance du fil.

En résumé, les savants et les Ingénieurs auront dans le sondeur Belloc un appareil très léger qui leur permettra d'opérer avec rapidité et précision.

M. le Président donne la parole à M. Regnard pour présenter une note de M. Platon Yankowsky sur *l'Accident arrivé à la grue roulante du port de Novorossisk.*

M. Regnard dit que notre collègue, M. Yankowsky, que beaucoup d'entre nous se souviennent sans doute d'avoir vu lors de la visite des Ingénieurs russes à l'Exposition de 1889, et dont un travail assez important doit être présenté prochainement à la Société, lui a adressé une petite note en lui demandant d'en donner connaissance, à l'occasion d'un accident survenu, dans les travaux du port de Novorossisk, sur la mer Noire, à un appareil construit par une maison anglaise, pour l'édification d'une jetée en blocs artificiels. Voici une analyse succincte de cette note qui, d'ailleurs, sera déposée aux archives de la Société :

L'appareil en question a été décrit tout au long, avec planches et dessins à l'appui, dans les *Annales des Ponts et Chaussées* du mois d'août de l'année dernière. M. Regnard montre au tableau quatre projections photographiques de diverses vues de l'appareil, avant et après l'accident.

L'appareil était destiné à poser des blocs au fond de la mer, et très différent de celui qui a été décrit sous le nom de Titan par nos collègues MM. Joubert et Fleury, dans leur communication sur les travaux du port de la Réunion.

Il y avait à construire, pour protéger un quai de 1 650 *m* de longueur, une jetée courbe de 835 *m*, composée d'enrochements jusqu'à 7 *m* au-dessous de l'eau, puis de blocs artificiels en béton avec superstructure en maçonnerie. Les blocs sont de 35 *t* et sont mis en place par une grue roulante, construite par une maison française, et qui n'a donné lieu à aucun reproche. Le pont supportant cette grue reposait sur six piles tubulaires s'appuyant simplement à leur base sur les enrochements; ces piles se soulevaient chaque fois qu'il était nécessaire de les déplacer, en vidant une partie de l'eau contenue dans leur intérieur, ce qui faisait flotter ces piles. A mesure de l'avancement, on reportait ainsi à l'avant du pont les deux piles de l'arrière, de manière à faire avancer ce pont au fur et à mesure de la progression de la jetée; de sorte que l'appareil ne reposait, pendant ces translations, que sur quatre piles au lieu de six. La liaison des piles entre elles était obtenue par des poutres en treillis, sans aucun contreventement; — c'est ce qui, croyons-nous, explique l'accident arrivé à cet appareil. — Avec une hauteur de 15 *m*, les piles

étaient distantes de 20 *m* longitudinalement, d'axe en axe, et de 15 *m* en travers. Le constructeur anglais, dit M. Yankowsky, avait présenté un appareil plus complet; mais l'entreprise, pour réaliser une économie, le lui avait fait modifier et réduire le plus possible; l'accident, dans ces conditions, n'a rien d'étonnant, et la responsabilité du constructeur est nulle.

Au mois de novembre de l'année dernière, l'accident s'est produit par une subite et violente tempête : les flots venant du large très obliquement ont déplacé les enrochements entre la jetée et l'une des piles, la base de cette pile a été affouillée et le pont s'est incliné du côté de la pile affouillée et finalement est tombé, entraînant dans sa chute les autres piles; il a été tellement disloqué dans cette chute qu'on fut obligé de le retirer par morceaux.

Il y a là, semble-t-il, un enseignement utile à retenir.

Plusieurs appareils analogues ont été employés en Angleterre avec succès, mais dans des conditions de construction assurément meilleures et donnant plus de stabilité.

Dans les eaux parfois violemment agitées où l'appareil de Novorossisk était appelé à fonctionner, il présentait deux inconvénients : insuffisance de rigidité et hauteur exagérée, de 14 *m*, trop grande pour la stabilité d'un appareil reposant simplement sur six appuis constitués comme il a été dit.

M. Yankowsky termine sa note en disant que, malgré cet échec désastreux, le système ne lui paraît pas condamné. M. Regnard dit que, pour lui, il ne comprend pas que, dans la construction d'une jetée à la mer, on puisse donner la préférence à un appareil de ce genre, surtout si on met en regard le prix (500 000 *f* environ) et le poids de ce pont roulant et ceux des appareils dits Titans, que la Compagnie de Fives-Lille a exécutés pour la Réunion d'abord, puis, avec diverses modifications, pour le port de Leixoes, appareils qui prennent sur la jetée elle-même leur point d'appui et fournissent, comme l'expérience l'a prouvé, une absolue sécurité.

M. le Président remercie M. Regnard de sa communication très intéressante. Il ouvre la discussion sur la communication de M. Casalonga au sujet du *Maximum théorique du rendement direct des machines à vapeur* et donne la parole à M. Richard.

M. Gustave Richard demande la permission de présenter quelques observations sur le mémoire de M. Casalonga.

Il lui paraît, en effet, quelque respect que l'on doive à une conviction aussi sincère que celle de M. Casalonga, impossible de laisser passer sans discussion une thèse qui met en question les principes fondamentaux de la thermodynamique.

D'après M. Casalonga, la formule du coefficient économique du cycle de Carnot serait absolument inexacte, parce qu'elle exigerait, pour son établissement, l'emploi de températures absolues, dont l'introduction ne laisserait aux formules employées pour exprimer les propriétés du cycle de Carnot qu'une apparence d'homogénéité. Ces formules seraient, d'après M. Casalonga, et autant que M. Richard a cru saisir les déve-

loppements qu'il expose aux pages 263 et 264 de son mémoire, absolument hétérogènes, et inadmissibles comme ne répondant à aucune réalité physique.

Il croit que M. Casalonga se trouve ici dans une erreur complète, et il lui suffira, pense-t-il, pour le démontrer, de rappeler que les propriétés du cycle de Carnot s'établissent rigoureusement sans qu'il faille un seul instant faire appel à la notion du zéro absolu, dont la soi-disant inadmissibilité constitue au fond toute l'objection de M. Casalonga.

Le cycle de Carnot jouit de deux propriétés : l'une particulière, d'être le cycle de rendement maximum, et l'autre, commune à tous les cycles fermés et réversibles : que son rendement est indépendant de la nature du corps travailleur.

La propriété du maximum s'établit presque d'elle-même en admettant, bien entendu, le principe de l'équivalence, par la définition seule du cycle de Carnot. Il y a, en effet, comme une raison physique sensible de ce maximum : car, si l'on prolongeait la détente au delà du point le plus bas du cycle, la température du corps descendant au-dessous de celle du réfrigérant *donné*, on ne pourrait le faire que par une source de froid artificielle et non gratuite : et, de même, on ne pourrait dépasser le point le plus élevé du cycle qu'en portant artificiellement le corps à une température plus haute que celle dont on dispose *naturellement* au foyer : opération qui se traduirait encore par une perte. C'est, il semble, comme si l'on voulait, toute analogie de fond réservée, augmenter le rendement d'une machine à colonne d'eau en soulevant mécaniquement à chaque coup son bief d'amont. On n'a donc pas avantage à dépasser les limites du cycle; on n'en a pas non plus à les restreindre, c'est-à-dire, à diminuer la chute de température disponible $t_1 - t_2$, pas plus qu'à réduire, dans un moteur hydraulique, la hauteur de la chute d'eau. Dans le cycle de Carnot, le corps travailleur reçoit la chaleur motrice à une température t_1, invariable et la plus haute dont on dispose, et il en abandonne le résidu à la température t_2, invariablement la plus basse ; la réception et l'abandon de la chaleur s'y font donc dans les conditions les meilleures que l'on puisse imaginer. Quant aux deux autres opérations du cycle, elles accomplissent, par définition, leurs travaux égaux et contraires sans variation de chaleur, et, comme nous l'avons vu, sans qu'il y ait intérêt, bien au contraire, à les prolonger ou à les restreindre. En un mot, la chaleur cédée au corps travailleur pendant l'isothermique t_1 est entièrement transformée en travail, tandis que celle abandonnée au réfrigérant lui est cédée à la température la plus basse, c'est-à-dire, avec une dépense de travail la moindre possible, entièrement convertie en chaleur ; et, d'autre part, les deux autres opérations du cycle s'effectuent sans dépense de chaleur : telle est la raison physique, presque évidente, du rendement maximum du cycle de Carnot.

Pour démontrer que le rendement du cycle de Carnot est indépendant de la nature du corps travailleur, il faut admettre la proposition que l'on désigne ordinairement sous le nom de postulatum de Clausius, et que l'on formule, dans son énoncé le plus simple, en disant que « la » chaleur ne peut pas passer *d'elle-même* d'un corps froid sur un corps

» chaud », ou, ce qui revient au même, que « la chaleur ne peut accom-
» plir un travail qu'en passant d'un corps chaud sur un corps froid ».

Ce principe n'a jamais été contesté en tant qu'applicable aux phénomènes qui interviennent dans le fonctionnement des moteurs thermiques à gaz ou à vapeur; son énoncé seul, tel que nous venons de le rappeler, a été critiqué comme ne s'appliquant pas en toute évidence à certains phénomènes physico-chimiques et thermo-électriques, et l'on a été amené à compléter cet énoncé de diverses manières, dont l'une des plus satisfaisantes paraît être la suivante, donnée par M. Bertrand, à la page 83 de sa *Thermodynamique :*

« Quels que soient les opérations accomplies et les corps mis en pré-
» sence, si aucun travail n'a été dépensé, il est impossible d'obtenir pour
» résultat final un transport de chaleur d'un corps sur un autre plus
» chaud que lui, *les autres corps du système ayant repris chacun leur*
» *température, leur volume et leur pression.* »

Sous cette forme, qui n'est qu'une paraphrase de l'énoncé plus court et plus saisissant de Clausius, le postulatum paraît absolument inattaquable : il est d'ailleurs indirectement démontré par l'exactitude de ses conséquences.

Ceci posé, il me suffira, continue M. Richard, de vous rappeler la démonstration classique de l'indépendance du rendement du cycle : elle consiste, comme vous le savez, à considérer le résultat final de l'accouplement de deux corps travailleurs différents, décrivant des cycles de Carnot en sens contraire et entre les mêmes limites de température, et de faire remarquer que ce résultat final doit être nul, car s'il n'en était pas ainsi, l'on obtiendrait, après le retour des deux corps à leur état primitif, et cela sans dépense de chaleur, un gain définitif de travail, soit actuel, soit sous la forme potentielle d'une quantité de chaleur transportée *spontanément* du réfrigérant au foyer.

Voici donc, d'après M. Richard, les propriétés fondamentales du cycle de Carnot établies par une suite de propositions fort simples, qu'il n'a pu que rappeler, mais que l'on trouve développées dans la plupart des traités de thermodynamique, et cela sans faire une seule fois appel à la notion du zéro absolu.

Il s'agit maintenant de formuler la valeur du rendement ou *coefficient économique* du cycle de Carnot, c'est-à-dire, du rapport de la chaleur utilisée à la chaleur fournie par le foyer. Afin d'y parvenir, on a cherché s'il n'existait pas un corps dont on puisse formuler exactement les adiabatiques et les isothermiques, suivre, en un mot, le point figuratif dans tout son parcours d'un cycle de Carnot. Ce corps existe : c'est un gaz parfait, dont l'hydrogène se rapproche infiniment, c'est-à-dire, un gaz suivant exactement, entre les limites du cycle, les lois de Mariotte et de Gay-Lussac. La mise en équation du cycle est alors très simple : sur les isothermiques, c'est la loi de Mariotte ; sur les adiabatiques, la loi de Laplace.

Désignons par (v_1, v_2, v_3, v_4) (p_1, p_2, p_3, p_4) les volumes et les pressions correspondant aux quatre angles du cycle ; par t_1 et t_2 ses températures extrêmes ; par A l'équivalent calorifique du travail ; par a le coefficient

de dilatation du gaz, et par γ le rapport $\frac{C_p}{C_v}$ de ses chaleurs spécifiques à pression et à volume constants; il vient, suivant les formules bien connues :

Pour les chaleurs, Q_1 et Q_2, empruntées au foyer sur l'isothermique t_1, puis cédées au réfrigérant en t_2.

$$Q_1 = A\, p_1 v_1 \log \frac{v_2}{v_1}$$

$$Q_2 = A\, p_4 v_4 \log \frac{v_3}{v_4},$$

et pour les adiabatiques d'aller a_1 et de retour a_2 :

$$(a_1) \qquad \left| t_1 + \frac{1}{a} \right| v_2^{\gamma-1} = \left| t_2 + \frac{1}{a} \right| v_3^{\gamma-1}$$

$$(a_2) \qquad \left| t_2 + \frac{1}{a} \right| v_4^{\gamma-1} = \left| t_1 + \frac{1}{a} \right| v_1^{\gamma-1},$$

d'où

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{v_3}{v_4},$$

et

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{p_1 v_1}{p_4 v_4};$$

et enfin, puisque, d'après les lois de Mariotte et de Gay-Lussac, on a :

$$\frac{p_1 v_1}{t_1 + \frac{1}{a}} = \frac{p_4 v_4}{t_2 + \frac{1}{a}},$$

l'équation finale :

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{t_1 + \frac{1}{a}}{t_2 + \frac{1}{a}};$$

d'où, pour le coefficient économique, la valeur connue

$$\frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \frac{t_1 - t_2}{t_1 + \frac{1}{a}}$$

établie, comme les propositions précédentes, sans faire un seul instant intervenir la notion du zéro absolu.

M. Richard sait bien que l'on a donné, d'après certaines idées, notamment d'après celles dont l'enchaînement très élégant et logique a constitué la théorie cinétique des gaz, le nom de *température absolue* à la fonction $\left(t + \frac{1}{a}\right)$ qui figure au dénominateur du coefficient économique; mais le nom ne fait rien à la chose. Rien n'empêche d'ignorer la théorie cinétique des gaz; on peut parfaitement ne pas l'admettre et déclarer sans objet ou d'ordre imaginaire cette notion du zéro absolu, définissant l'état hypothétique d'un corps dénué de force calorique, réduit à son volume atomique, etc., cela n'attaque en rien la formule du coefficient économique, établie

comme nous venons de le rappeler, ainsi que le principe de l'équivalence, lui-même, en dehors de toute spéculation sur la nature de la chaleur.

M. Richard arrive maintenant à une seconde objection de M. Casalonga. On lit à la page 266 de son mémoire :

« En vain, pour faire au moins sentir l'erreur du coefficient économique, j'invoquai le cycle même de Carnot, dont la première partie, terminée par une isothermique, montre avec évidence un travail effectué sans variation de température, c'est-à-dire avec un coefficient $\frac{T_0 - T_1}{T_0} = 0$ » ; et plus loin, page 268, exprimant de nouveau cette même idée :

« Il n'y a pas de variation sensible de température pendant la pleine admission de la vapeur au cylindre moteur : le travail, d'après la loi Carnot-Clausius, *devrait donc être nul*, et il est plus que le double de celui de la détente. »

M. Richard estime qu'on se trouve ici en présence d'un véritable malentendu au sujet de la signification du coefficient économique : ce coefficient désigne le rendement d'un certain *cycle*, parfaitement défini, c'est-à-dire, d'une opération fermée sur elle-même, au bout de laquelle le corps travailleur revient exactement à son état primitif, après avoir accompli d'une façon continue une série d'opérations rigoureusement définies et dans leur nature et dans l'ordre de leurs successions. Il ne peut y avoir évidemment aucun rapport entre le résultat de ce cycle, ou d'un cycle quelconque, et le travail accompli le long d'une *courbe ouverte* quelconque, isothermique ou non. Vouloir appliquer à une opération ouverte un coefficient économique dont la notion même est inséparable de celle du cycle fermé corrélatif, puis déclarer que ce coefficient est faux parce que l'on arrive à lui prêter ainsi une signification tout à fait irrationnelle, c'est, il semble, se méprendre du tout au tout sur la signification réelle du coefficient économique. S'il insiste sur ce malentendu, ce n'est pas qu'il soit bien grave ou dangereux en lui-même : trop évident pour tromper un lecteur attentif, mais parce qu'il craint qu'il n'y ait, au fond de toute la critique de M. Casalonga, pas autre chose qu'un perpétuel oubli de considérer le cycle de Carnot dans son ensemble irréductible, et non pas en chacune de ses parties isolément, sans remarquer que ces parties n'ont de signification, dans la question qui nous occupe, qu'en raison même du lien qui les unit en un cycle fermé, reversible, rigoureusement défini.

M. Richard demande encore, pour quelques instants, la bienveillante attention de l'assemblée au sujet de trois points importants du mémoire de M. Casalonga.

A la page 274 de son mémoire, M. Casalonga dresse un tableau des valeurs successives du rapport

$$\frac{l - l'}{L' - L};$$

l étant la chaleur latente de vaporisation de l'eau à 1 atmosphère et l'

cette chaleur à des pressions successives, L et L' les chaleurs totales correspondantes, et il conclut, de ce que ce rapport oscille autour du nombre 2,35, qu'il devrait être constant et égal au rapport

$$\frac{c_p}{c_p - c_v} = 2{,}43,$$

dans lequel c_p et c_v désignent les chaleurs spécifiques de l'air à pression et à volumes constants. Puis, ajoute-t-il, « ce résultat met en évidence » ce fait très intéressant, et qui est une confirmation de l'exactitude de » ma méthode, que les rapports entre les calories du travail *externe* et » celles du travail *interne* est une constante, et que cette constante est » la même qui résulte du rapport tiré des capacités calorifiques de gaz » permanents ».

Cette interprétation paraît à M. Richard tout à fait inexacte.

Il remarque d'abord que l'expression

$$\frac{c_p}{c_p - c_v}$$

n'a rien de commun avec le travail interne des gaz permanents ; travail nul pour un gaz parfait, presque nul pour l'air.

En ce qui concerne la vapeur d'eau, sa chaleur latente l, ou la chaleur qu'il faut dépenser pour vaporiser le kilogramme d'eau déjà porté à la température et sous la pression de saturation correspondante, la chaleur l, dit-il, peut être considérée comme la somme de deux chaleurs employées, l'une à vaincre la pression p, qui s'oppose au développement u de la vapeur, et l'autre à la formation même de la vapeur. Cette dernière chaleur, désignée par Zeuner sous le nom très significatif de *chaleur latente interne*, et par la lettre ρ, est donnée par la formule

$$\rho = l - Apu,$$

et, pour que la proposition de M. Casalonga fût exacte en ce qui concerne, bien entendu, seulement la proportionnalité du travail interne $E\rho$ au travail externe pu, dans la formation de la vapeur d'eau, il faudrait que l'on eût :

$$\frac{\rho}{Apu} = \text{constante}.$$

Or, il s'en faut de beaucoup qu'il en soit ainsi : ce rapport est, en effet, donné, d'après les tables de Regnault, à très peu près, par l'expression

$$\frac{\rho}{Apu} = \frac{575{,}4 - 0{,}791\,t}{31{,}10 + 0{,}095\,t}.$$

On voit qu'il diminue rapidement avec la température t.

Pour une pression de 1 atmosphère, $\frac{\rho}{Apu} = 12{,}4$ environ.

— 10 — — 0,94 —

Plus la vapeur se surchauffe, plus on se rapproche, *mutatis mutandis*, d'une relation de la forme

$$\frac{l}{\rho} = \frac{c_p}{c_v} = \gamma,$$

de forme analogue à celle des gaz parfaits, mais aucune *vapeur* saturée n'obéit à la loi

$$\frac{l}{\rho} = \gamma.$$

La seconde observation que désire faire M. Richard a trait à l'opinion exprimée par M. Casalonga au sujet de la manière d'assurer l'*efficacité de l'enveloppe* des machines à vapeur.

« La théorie de cet organe important, dit M. Casalonga à la page 273 » de son mémoire, peut se résumer en trois mots : *chauffage à outrance.* »

M. Richard fait observer qu'il quitte ici le domaine de la théorie pure pour celui de la pratique, où il importe de se montrer très réservé, surtout lorsqu'il s'agit d'un sujet aussi controversé que celui de l'enveloppe de vapeur; il n'hésite pas, néanmoins, à dire, qu'à son avis, la théorie de l'enveloppe n'est pas aussi simple que cela; il croit même qu'elle n'est pas faite, ni même faisable, car on ne possède pas encore la théorie de la conductibilité *réelle* des parois des cylindres et de leur rayonnement, et cette théorie est évidemment indispensable pour établir celle de l'enveloppe.

Ce que nous savons de l'enveloppe nous a été fourni presque entièrement par l'expérience, notamment par les magnifiques travaux de Hirn et de l'école alsacienne. La théorie ne nous apprend guère que ceci : que l'enveloppe ne doit pas avoir pour objet d'empêcher la condensation de la vapeur saturée par le travail de la détente. Elle ne le pourrait pas, car le refroidissement dû à ce travail s'opère dans toute la masse de la vapeur non conductrice, où la chaleur de l'enveloppe ne saurait pénétrer; et, d'autre part, lors même qu'elle le pourrait, une enveloppe qui ne ferait que cela serait désavantageuse; elle augmenterait le travail indiqué, mais aux dépens du rendement, qui, pour une détente complète entre 150 et 50°, par exemple, tomberait de 0,210 à 0,177 (1). C'est ce que l'on exprime souvent en disant que l'application de l'enveloppe à une machine *idéale* serait désavantageuse : expression qu'il ne faudrait pas prendre à la *lettre*, puisque l'on désigne, en général, sous le nom de machines idéales celles dont les cylindres seraient adiabatiques.

Le rôle de l'enveloppe est, comme vous le savez, de réparer les effets de l'influence des parois, en vaporisant pendant la détente l'eau qui se précipite sur les parois du cylindre, en très grande partie pendant l'admission; et l'important c'est que l'enveloppe évapore la plus grande partie de cette eau, sinon sa totalité, *pendant la détente*, de manière que le cylindre soit, autant que possible, rempli, *au commencement de l'échappement*, de vapeur saturée sèche.

Si vous ne vaporisez pas toute l'eau pendant la détente, c'est pendant l'échappement que cette vaporisation se fera par l'enveloppe, en augmentant la perte au condenseur de toute la chaleur de cette vaporisation. Si vous allez au delà, vous augmentez encore, moins sans doute, il est vrai, la perte au condenseur, à qui vous envoyez de la vapeur inutilement surchauffée.

C'est donc à ce point difficile à saisir qu'il faut arriver et se tenir, si l'on veut tirer de l'enveloppe tout ce qu'elle peut donner; et c'est là

(1) *Moutier.* Thermodynamique, p. 139.

grande difficulté d'y parvenir qui explique en partie les résultats si discordants de l'enveloppe. Dans une machine simple, les parois fournissent presque toute la chaleur de réévaporation; il suffit souvent d'un très faible appoint de l'enveloppe, amené au moment opportun de la course, pour fournir à l'eau précipitée le supplément de chaleur nécessaire pour qu'elle atteigne le point de vaporisation correspondant à la pression actuelle de la détente. On comprend ainsi que l'enveloppe puisse, avec une très faible quantité de chaleur, augmenter considérablement le rendement de la détente, et cette considération donne à penser que les enveloppes de gaz chauds pourraient, dans certains cas, être plus efficaces que ne le ferait supposer la faible capacité calorifique de ces gaz, comparée à celle de la vapeur. C'est le cas des cylindres intérieurs des locomotives enveloppés par les gaz perdus de la boite à fumée. Dans les machines compound, le rôle de l'enveloppe est différent; c'est elle, et non les parois, qui fournit presque toute la chaleur de vaporisation; mais, dans les deux cas, c'est à la saturation de la vapeur détendue qu'il faut s'arrêter. Le difficile est de s'y arrêter. La conductibilité du cylindre varie avec son entretien et son graissage. La chaleur à fournir change avec la détente, la pression, la vitesse du moteur, surtout avec le primage de la chaudière, dont l'eau s'ajoute à celle de la condensation des parois, et dont on ne tient pas toujours le compte qu'il faudrait. Toutes ces difficultés, jointes à cette considération qu'il vaut sans doute mieux laisser la vapeur, à la fin de la détente, légèrement surchauffée qu'humide, expliquent en partie l'emploi, souvent proposé, d'enveloppes à une pression plus élevée que celle de l'admission; mais elles ne suffisent pas pour justifier la proposition absolue de M. Casalonga, se résumant à dire que plus l'enveloppe sera chaude, plus elle augmentera *toujours* le rendement du moteur.

M. Richard termine ces quelques remarques par une observation au sujet d'un passage du mémoire de M. Casalonga où il revendique, p. 276, la « mise en évidence et la mesure de la quantité de chaleur dis-
» parue de la chaudière pendant le travail à pleine pression de la vapeur,
» quantité de chaleur ayant échappé jusqu'ici à l'observation des expé-
» rimentateurs ».

Toutes les fois qu'il passe de la chaudière au cylindre un poids P ou un volume V de vapeur à la pression p, il en sort évidemment (PL — ApV) calories : PL étant la chaleur totale de cette vapeur, et dont la partie négative ApV, est précisément équivalente à son travail de pleine admission. Il semble que cela soit un peu connu de tout le monde : M. Casalonga a donc incomplètement exprimé sa pensée dans ce passage de son mémoire, et M. Richard serait heureux qu'il voulût bien fournir quelques explications complémentaires à ce sujet.

M. R. Arnoux dit que M. Gustave Richard vient d'exposer une étude critique très claire et très précise du travail de M. Casalonga, à laquelle il se permettra d'ajouter seulement quelques observations, parce qu'elles ne font pas double emploi avec celles formulées par notre estimé collègue.

Les idées théoriques personnelles que M. Casalonga s'est faites sur la

thermodynamique sont accompagnées, dans l'exposé qu'il nous en a fait, de quelques calculs numériques dans lesquels l'auteur croit avoir trouvé une vérification expérimentale de ses idées.

M. Arnoux pense donc apporter quelques éclaircissements dans la discussion, en signalant en quoi les méthodes de calcul adoptées par l'auteur ne sont pas exactes ; et comme la plus grosse source d'erreurs se trouve dans la méthode adoptée par notre collègue pour calculer la partie du travail total due à la détente adiabatique de la vapeur, c'est sur cette méthode qu'il tient à formuler une critique.

Pour calculer le travail dû à la détente adiabatique de la vapeur, M. Casalonga a adopté la formule expérimentale bien connue de Regnault :

$$Q = 606{,}5 + 0{,}305\,t, \qquad (1)$$

en admettant que la quantité de chaleur transformée en travail est simplement la différence entre la quantité de chaleur que possède la vapeur à la température T_0 de la chaudière et celle qu'elle possède encore à la température T_1 du condenseur. Or, une telle manière de calculer cette quantité de chaleur ne peut pas conduire à un résultat exact.

En effet, la formule de Regnault fait simplement connaître *la quantité de chaleur qu'il faut communiquer à l'unité de poids d'eau pour porter sa température du zéro du thermomètre usuel à la valeur et la transformer ensuite entièrement en vapeur saturée à cette même température sous pression constante.* C'est, d'ailleurs, ce qui ressort immédiatement de l'examen des conditions expérimentales dans lesquelles s'est placé Regnault pour déterminer cette formule. L'appliquer directement au calcul des quantités de chaleur mises en jeu dans des conditions différentes et en particulier au calcul de la quantité de chaleur transformée en travail par la détente adiabatique de la vapeur, pendant laquelle la pression varie constamment, c'est s'exposer à commettre de graves erreurs. Si la vapeur restait toujours *saturée* et *sèche* pendant cette partie du cycle, notre collègue serait peut-être en droit d'y appliquer la formule de Regnault. Or, il n'en est pas ainsi : Clausius et Rankine ont, en effet, démontré par le calcul, et Hirn a confirmé ensuite par l'expérience, qu'il y a condensation *partielle* de la vapeur pendant la détente. Pour calculer la quantité de chaleur transformée en travail dans cette partie du cycle, il faut employer une formule différente.

Si on admet, comme l a fait M. Casalonga dans son mémoire, que la détente de la vapeur s'effectue *adiabatiquement*, auquel cas la vapeur doit emprunter *à elle-même toute la chaleur* correspondant, d'après le principe de l'équivalence, au travail externe développé, cette quantité de chaleur, mise en jeu par l'*unité de poids* de matière, sera déterminée par l'équation :

$$Q = \int_{T_0}^{T_1} C_s\,dT \qquad (2)$$

dans laquelle C_s désigne *la chaleur spécifique de la vapeur saturée*. Or, Clausius a démontré, en partant des expériences de Regnault, que cette chaleur spécifique est la fonction suivante de la température :

$$C_s = 1{,}013 - \frac{800{,}3}{T}$$

ce qui donne pour Q la valeur :

$$Q = \int_{T_0}^{T_1} 1{,}013\, dT - 800{,}3\, \frac{dT}{T}.$$

Si, comme c'est le cas pour la vapeur d'eau, la chaleur spécifique C_s est *négative*, l'intégrale précédente, dans laquelle la limite supérieure est moindre que la limite inférieure, fournira la valeur positive suivante :

$$(3) \qquad Q = -1{,}013\,(T_1 - T_0) + 800{,}3\,(LT_0 - LT_1)$$

dans laquelle L désigne un logarithme népérien.

Si maintenant on part de cette équation, *déduite des expériences de Regnault*, pour calculer les quantités de chaleur transformées en travail dans les différents cas traités par notre collègue, on obtient le tableau comparatif suivant :

	110° — 50°	150° — 50°	180° — 50°
D'après M. Casalonga	18,3	30,5	39,7
D'après l'équation (3)	75,58	114,56	139

On voit combien notre collègue est peu en droit d'affirmer que le travail de pleine pression *est plus que le double du travail de détente.*

En outre, les chiffres de rendement que M. Casalonga a cités dans son mémoire, comme ayant été déduits par Clausius de l'équation :

$$(4) \qquad R_t = \frac{T_0 - T_1}{T_1}$$

ont été déduits en réalité d'une formule très compliquée calculée par lui en partant des données *expérimentales* fournies par les travaux de Regnault.

Afin de fixer les idées sur ce point, il suffira de reproduire ici le tableau comparatif donné par Clausius dans sa *Théorie mécanique de la chaleur* (1) et auquel M. Arnoux a ajouté les rendements calculés par M. Casalonga :

t	110° — 50°	150° — 50°	180° — 50°
$\frac{T_0 - T_1}{T_1}$	0,157	0,0236	0,287
Clausius.	0,149	0,217	0,258
Casalonga.	0,0933	0,121	0,140

(1) *Théorie mécanique de la chaleur*, par R. Clausius, 2e édition ; traduction F. Folie et E. Ronkar. Gauthier-Villars, 1888, page 383.

En résumé, si M. Casalonga veut bien refaire ses calculs sur des bases plus logiques que celles qu'il a admises et en tenant compte autant qu'il est possible, comme l'a fait Clausius, de tous les facteurs physiques qui entrent en jeu dans le cycle *fermé* de la machine à vapeur, M. Arnoux estime que notre collègue arrivera à des résultats numériques assez peu différents de ceux fournis directement par l'équation (4) qui est relative au cas d'un cycle *fermé* et *réversible*, c'est-à-dire correspondant au rendement maximum, et qu'il lui faudra chercher une vérification expérimentale de ses idées théoriques dans une autre voie.

M. Bertrand de Fontviolant demande la permission de faire observer que, dans son mémoire et dans sa réponse aux objections si brillamment développées par M. Richard, M. Casalonga détourne la formule

$$\frac{Q_o}{Q_1} = \frac{T_o}{T_1},$$

de sa véritable signification.

Tandis que cette équation a été établie dans les conditions spéciales et bien définies du cycle de Carnot, M. Casalonga, attribuant aux notations Q_o, Q_1, T_o, T_1, un sens qu'elles n'ont pas, applique la formule en question à des évolutions qui n'ont aucun rapport avec le cycle de Carnot, et qui n'ont même pas lieu suivant un cycle fermé.

Les conséquences auxquelles M. Casalonga est conduit de la sorte ne sauraient, dès lors, être invoquées pour prouver que la formule est fausse, comme il le prétend.

D'un autre côté, M. Casalonga avance que cette même formule est en contradiction avec le principe de Mayer.

Cette affirmation n'est pas justifiée.

Le théorème de Clausius, dont l'équation contestée par M. Casalonga est une conséquence immédiate, et celui de Mayer, sont, en effet, deux propositions bien distinctes, indépendantes l'une de l'autre.

Lorsque, traduisant ces théorèmes en *équations équivalentes*, on dit, avec Clausius, que l'expression

$$\frac{dQ}{T}$$

est la différentielle d'une fonction déterminée de la pression p et du volume v, et, avec Mayer, que l'expression

$$dQ - Ap\,dv$$

est la différentielle d'une autre fonction également déterminée de ces mêmes variables, où donc est la contradiction?

M. D.-A. Casalonga ne pense pas pouvoir répondre, vu l'heure avancée de la séance, à toutes les objections élevées par ses contradicteurs : il voudrait dire quelques mots au sujet de la communication très étudiée et si magistrale de M. G. Richard.

M. Richard ne s'est pas contenté de rester dans la question du rendement direct et absolu des machines à vapeur ; il a repris le cycle de Carnot, pour le défendre contre des attaques que, d'ailleurs, il assure être vaines.

M. Casalonga va essayer de fournir quelques explications au sujet du principe de Carnot-Clausius, du cycle de Carnot, et des températures absolues.

On sait qu'en thermodynamique, quand il s'agit de déterminer le rendement d'une machine, on fait toujours usage du rapport de Clausius

$$\frac{T_o - T_1}{T_o}$$

expression depuis longtemps classique, qui va peut-être devenir légendaire, et qui est tirée de l'analyse du cycle de Carnot.

Ce cycle a été déduit du principe II de la thermodynamique, dit d'abord principe de Carnot, et devenu le principe de Carnot-Clausius depuis que ce dernier savant a interprété et transformé ce cycle avec l'idée de le rattacher au principe de l'équivalence.

Le principe de Carnot a été inspiré par une pensée philosophique d'une haute portée, mais d'après un point de vue inexact. Quant au cycle de même nom, d'une figuration simple, élégante, exacte, il a été mal analysé et les déductions qui en ont été tirées sont erronées.

Carnot, avec l'idée que, de son temps, on se faisait du calorique, avait cru que lorsqu'un travail mécanique quelconque était effectué, ce travail correspondait à l'écoulement d'une quantité de chaleur mise en œuvre, toujours la même pour un même travail; et, assimilant cet écoulement à celui d'un fluide pesant, il y rattachait indissolublement la notion d'une chute de température de laquelle dépendait exclusivement, selon lui, le travail; tout comme, dans l'écoulement d'un poids d'eau, le travail dépend exclusivement de la chute.

Imbu de cette idée, Carnot inaugura ce raisonnement si ingénieux de l'accouplement de deux cycles, que M. Richard a rappelé, et par lequel il démontrait, sous peine d'arriver à conclure par le mouvement perpétuel, que la nature du corps travailleur n'influait pas sur le rendement de la machine.

Mais depuis la découverte, par Mayer, du principe de l'équivalence —et du reste, Carnot semble avoir eu lui-même, avant de mourir, la même notion—on a reconnu que: de toute la chaleur mise en œuvre que considérait Carnot, une partie seulement était transformée en travail, et l'on a alors entrepris d'approprier, on sait de quelle façon, le principe de l'équivalence au principe de Carnot; mais, chose étrange, on a cru devoir conserver le raisonnement qui, juste pour la conception de Carnot, tout erronée qu'elle fût, cessait de l'être avec la notion de la répartition de la chaleur de mise en œuvre en travail interne et en travail externe.

Avant de rappeler, d'après Hirn, le principe de Carnot-Clausius, M. Casalonga voudrait dire encore quelques mots du zéro absolu dont on a fait, selon lui, un si fâcheux usage.

Il se gardera de contester l'utilité de ce zéro; et, au contraire, il lui semble bien que cette quantité physique répond utilement et exactement à un certain ordre d'idées. Il n'en faut pas seulement fausser la signification et l'application.

Tout à l'heure on disait que le Conseil de l'enseignement supérieur

avait pris, à son sujet, une décision dont M. Casalonga n'a pu comprendre la signification. On le considérerait dorénavant, dit M. de Bruignac, d'accord en cela avec lui-même, avec M. de Fontviolant et aussi avec M. Richard, comme *imaginaire !*

Il semblera étrange qu'après avoir, seul et le premier, attaqué depuis longtemps le zéro absolu, M. Casalonga croie devoir maintenant le défendre. Depuis plusieurs années, depuis deux ans surtout, il y a appelé l'attention des techniciens, des savants ; et il y a peu de temps encore, on lui reprochait à l'Académie de n'émettre à ce sujet que des *idées vagues*. Il serait heureux d'apprendre que ces idées commencent à prendre un peu de corps.

On peut maintenant reléguer le zéro dit absolu dans les quantités imaginaires ; mais un fait est certain : c'est que tous les ouvrages qui traitent de thermodynamique, y compris les tout récents, renferment le rapport $\frac{T_o - T_1}{T_o}$, tiré du rapport $\frac{Q_o}{Q_1} = \frac{T_o}{T_1}$, et on y place le zéro invariablement à 273° au-dessus du zéro centigrade.

M. Casalonga a montré que le zéro qui épuise la détente adiabatique est à environ 116° ou 112° au-dessous du zéro centigrade.

Tous ceux qui ont écrit en thermodynamique — ils sont nombreux, et M. Richard les connaît bien — sont partis de ce principe, énoncé par Hirn de la manière suivante, et que M. Casalonga a rapporté dans son mémoire :

« Étant données une différence de température $t_o - t_1$, et une quantité » de chaleur disponible Q_o, employée à produire du travail externe et in- » terne, la quantité de chaleur Q_1 qu'il faut restituer pour fournir un tra- » vail externe définitif se trouve, avec la quantité Q_o, dans un rapport » constant qui a pour expression :

$$\frac{Q_1}{Q_o} = \frac{T_1}{T_o} \left(\text{d'où } \frac{Q_o - Q_1}{Q_o} = \frac{T_o - T_1}{T_o} \right).$$

Et l'on ajoute, conformément aux idées que M. Richard nourrit encore actuellement :

« Ce rapport est universel et ne dépend en aucune façon de la nature » du corps auquel on fait subir l'action des températures. »

Or, que l'on puisse écrire $\frac{Q_o}{Q_1} = \frac{T_o}{T_1}$, M. Casalonga l'admet parfaitement ; mais il nie qu'on puisse l'écrire dans le système du cycle de Carnot.

Si l'on admet le rapport $\frac{Q_o}{Q_1} = \frac{T_o}{T_1}$, on n'est plus dans l'énoncé. Il s'agit alors de quantités de chaleur actuelles, considérées à deux états successifs de température, dans un même poids du corps, qu'il soit chauffé, si c'est un gaz parfait, à volume constant ou à pression constante, sans que, dans aucun cas, la différence entre ces deux quantités de chaleur puisse être considérée comme correspondant à un travail effectué. Et si, dans une machine thermique, on met en parallèle un

gaz permanent, de l'eau, un corps solide, on ne pourra pas soutenir, comme cela a été fait au dernier Congrès international de mécanique appliquée de 1889, que la nature des corps est indifférente pour le rendement de la machine.

M. Casalonga pense pouvoir s'étonner que des techniciens, des savants de premier ordre puissent encore soutenir, aujourd'hui, que les quantités de chaleur Q_0, Q_1 tirées du cycle de Carnot et celles Q_0, Q_1 tirées du principe de l'équivalence, ont une même égale valeur; qu'elles sont, comme l'affirmait tout à l'heure encore M. Richard, identiques et algébriquement substituables, et que l'on peut en déduire le rapport $\frac{T_0 - T_1}{T_0}$.

Quant aux observations que lui a faites M. R. Arnoux, M. Casalonga avoue n'en pas comprendre l'essence et la raison. Il lui semble, tant pour ce qui concerne la formule de Regnault relative aux vapeurs saturées, que pour ce qui concerne le tableau extrait de la *Théorie mécanique de la chaleur*, de Clausius, relatif aux rendements d'une machine thermique, que c'est son collègue qui est dans l'erreur, et il espère l'amener à s'en apercevoir. Le reproche qui lui a été adressé par M. Arnoux, et d'autres contradicteurs, de ne pas avoir tenu compte de la condensation de la vapeur pendant la détente adiabatique n'est pas fondé. M. Casalonga a justement montré l'emploi de la chaleur de condensation, en montrant que celles de ses calories qui ne sont pas transformées en travail, passent dans la chaleur latente de la vapeur en mouvement.

Avant de terminer, M. Casalonga fait remarquer à M. de Fontviolant, qui, reprenant par un autre côté un argument déjà exposé par M. Richard, lui reproche de n'avoir pas tenu compte que le cycle de Carnot est fermé; que les résultats obtenus par sa méthode sont inférieurs de beaucoup à ceux tirés du cycle de Carnot; que, s'il n'avait pas tenu compte du retour du cycle à l'origine, il aurait un certain travail négatif à retrancher, ce qui lui donnerait des valeurs encore plus faibles. L'argument donc ne porte pas.

Relativement à l'enveloppe de vapeur, M. Casalonga maintient son opinion qu'il faut la chauffer à outrance dans tous les cas. Lorsque M. Richard se sera persuadé de ce fait que le rendement de la chaleur qui passe à travers l'enveloppe est bien supérieur à celui de la chaleur renfermée dans la vapeur, il ne sera pas loin de croire que ce n'est pas sortir d'une sage réserve que d'affirmer un principe vrai, sans prétendre en tirer la valeur de son efficacité, dans tous les cas de la pratique, que, dans une théorie physique simple, on doit éliminer.

Certains auteurs ont écrit qu'au point de vue théorique, en considérant une machine *idéale*, l'enveloppe de vapeur n'était pas utile; qu'elle était même désavantageuse. M. Casalonga signale un important article publié dans un récent numéro de *Franklin Institute* et écrit justement dans l'ordre d'idées que vient d'exposer M. Richard, par un professeur étranger des plus distingués, M. Thurston. Le savant directeur du *Sibley College* démontre que, théoriquement, l'enveloppe de vapeur est nuisible; puis, tout aussitôt, en rapportant les très nombreuses expériences qui

ont été faites dans tous les pays, il montre que ces expériences ont toujours donné dans tous les cas des avantages très marqués. Comment se peut-il, dit M. Casalonga, que les résultats de l'expérience puissent non seulement atteindre ceux indiqués par la théorie, mais les dépasser ? C'est inadmissible ! Il y a une erreur, et cette erreur il la voit justement dans l'usage que fait le professeur Thurston, dans sa théorie de l'enveloppe d'une machine *idéale*, des principes généralement admis jusqu'ici et du trop fameux rapport $\frac{T_o - T_1}{T_o}$.

Relativement à la méthode qu'il a appliquée pour déterminer le rendement direct et absolu de la vapeur, et qui a été combattue par M. Arnoux et notamment par M. Richard, M. Casalonga ne s'explique vraiment pas qu'on puisse contester cette méthode. Rien n'est plus simple et plus net. Lorsque, envisageant un poids déterminé de vapeur, il montre qu'il y a, dans ce poids de vapeur, tant de calories au commencement qu'il en reste tant à la fin, il pense avoir raison de dire qu'il n'a pu se transformer en travail extérieur que la différence.

M. Casalonga aurait encore d'autres réponses à faire à propos du débat très important qui vient de s'engager et qu'il ne lui semble pas qu'on puisse vider dans une séance. Mais l'heure est déjà avancée et, loin de continuer, il s'excuse au contraire d'avoir pendant si longtemps imposé à ses collègues l'exposé de ses idées, auxquelles il reste fermement attaché.

M. le Président propose, vu l'heure avancée, de remettre la suite de la discussion à une séance ultérieure.

La séance est levée à onze heures un quart.

Séance supplémentaire du 26 juin 1891.

Présidence de M. E. Polonceau

La séance est ouverte à huit heures et demie.

M. Jousselin a la parole pour donner quelques détails sur le *Nouveau paquebot transatlantique la Touraine* et s'exprime ainsi :

Samedi dernier, 20 courant, le paquebot *la Touraine* est parti du Havre pour effectuer sa première traversée pour New-York.

Les essais officiels, qui avaient donné les résultats les plus satisfaisants, avaient été faits quelques jours auparavant entre Saint-Nazaire et le Havre, et le dimanche, 14 juin, avait lieu au Havre, à bord du même navire, en présence de MM. les Ministres de l'Intérieur et du Commerce. une intéressante cérémonie d'inauguration à laquelle assistaient les

nombreux invités de la Compagnie Transatlantique, hommes politiques, ingénieurs, négociants et industriels qu'avaient amenés les trains spéciaux mis gracieusement à leur disposition par la Compagnie.

J'ai eu la bonne fortune d'assister à cette sorte de présentation au monde commercial du plus grand navire de la Compagnie Transatlantique et je viens, en quelques mots, vous faire part de mes impressions.

C'est en 1866 que la Compagnie Transatlantique mettait en marche entre la France et les États-Unis son premier grand paquebot à hélice *le Pereire*, dont la disposition, au point de vue de la vitesse, devait réaliser tous les avantages sur le service des gros paquebots à roues employés jusqu'alors.

Le succès ayant couronné ce premier essai, la Compagnie résolut d'affecter d'une manière exclusive les navires à hélice à son service transatlantique et elle livra successivement à l'exploitation, savoir : en 1875 *le Labrador*, en 1883 *la Normandie*, en 1889 *la Champagne* et enfin elle se propose de mettre sur chantier après *la Touraine* un navire plus considérable encore, *la Lorraine*.

J'ai cru devoir rappeler dans un tableau les données relatives à chacun de ces navires :

DONNÉES DIVERSES	NOMS DES NAVIRES					
	LE PEREIRE	LE LABRADOR	LA NORMANDIE	LA CHAMPAGNE	LA TOURAINE	LA LORRAINE
Longueur entre perpendiculaires . . . . . *m*	100,60	120,00	140,00	150,00	157,45	179,00
Largeur. . . . . *m*	13,33	13,40	15,30	15,77	17,13	17,80
Tirant d'eau en charge. *m*	6,70	7,30	7,30	7,30	7,20	7.40
Déplacement correspondant. . . . . *tx*	5 080	7 715	9 657	10 010	11 685	»
Force motrice totale. *chx*	3 400	3 800	7 000	8.000	12 000	»
Vitesse en nœuds. . . .	14	13,20	15,50	17,50	19	21
Durée moyenne du parcours. . . . . *jours.*	9	10	8 1/4	7 1/2	7	6 1/3
Nombre total des passagers.	370	890	1 137	1 089	1 090	1 150

Il résulte de ce tableau que la Compagnie a développé successivement les dimensions de ses grands paquebots et par suite a pu augmenter le nombre de ses passagers, qu'elle réalise par la disposition du mécanisme moteur de ses navires une diminution notable dans la durée du parcours : tout le monde se plaît à reconnaître que dans les navires en question la Compagnie n'a rien négligé au point de vue du confortable qui semble être l'objet de ses préoccupations constantes.

La Touraine est un paquebot à deux hélices de six mètres de diamètre, lesquelles hélices sont actionnées par deux machines indépendantes développant ensemble 11 500 chevaux au tirage naturel ; cette puissance pourra être poussée aisément jusqu'à 13 000 chevaux quand on mettra en mouvement les ventilateurs de sa chaufferie réalisant le tirage forcé.

Actuellement, et ainsi que l'ont démontré les essais, *la Touraine* peut compter sur une vitesse moyenne de dix-neuf nœuds et demi à l'heure : avec le tirage forcé cette vitesse atteindra vingt nœuds et demi.

Ce qui permettra certainement de réduire la durée du parcours actuellement estimée à sept jours pleins.

Le navire a été gréé en trois mâts-goélette sous voiles carrées au lieu des quatre mâts adoptés sur les types précédents ; la voilure, on a été amené à le reconnaître, ne jouant qu'un rôle bien insignifiant dans les paquebots de cette dimension.

Le système d'établissement de la coque de *la Touraine* résume tous les progrès réalisés dans les constructions navales au point de vue de la légèreté et de la distribution judicieuse des matériaux :

Je rappellerai seulement la disposition des membrures de sa quille, constituée par des plaques en U d'acier d'une seule pièce, et combinée avec le water-ballast occupant environ les deux tiers de la largeur du navire. Je citerai l'agencement des cinq ponts avec leurs barrots métalliques, le revêtement en tôle d'acier sur une épaisseur de 46 *mm* du pont supérieur, revêtement qui, combiné avec celui de la coque, constitue pour le navire une véritable cuirasse d'une rigidité à toute épreuve.

J'ajoute que la résistance de l'ensemble de la coque est augmentée encore par la cloison longitudinale en tôle séparant les chambres des machines et partageant en deux parties le tunnel de passage des arbres d'hélice. — Je ne puis malheureusement m'étendre ici sur la disposition nouvelle de l'appareil à gouverner, qui mérite certainement une mention spéciale avec ses servo-moteur, tambours cannelés à drosse, guindeau, et barre franche à palans, organes qui permettent de manœuvrer le gouvernail de quatre manières distinctes.

Les deux machines motrices sont de disposition identique : chacune d'elles est à triple expansion, d'une puissance de 5500 à 6000 chevaux ; les trois cylindres, placés à la suite l'un de l'autre, ont respectivement les diamètres de 1,04 *m* ; 1,54 *m* ; 2,54 *m* pour une course commune des pistons de 1,66 *m*.

Les tiroirs du petit cylindre et du cylindre moyen sont cylindriques, celui du grand cylindre est un tiroir plan ordinaire.

Chaque machine est munie de deux pompes alimentaires mues par les pistons extrêmes, de deux condenseurs et de deux pompes de circulation indépendantes.

Je n'ai pu me défendre d'un sentiment d'admiration à la vue de la perfection du montage des arbres des machines avec leurs puissantes bielles et appareils de distribution si bien combinés, et aussi de la disposition des énormes arbres d'hélice (0,514 *m*) avec leurs paliers d'une forme si caractéristique.

La vapeur est fournie aux machines par neuf chaudières cylindriques timbrées à 10,500 *kg*, distribuées dans deux compartiments distincts, et disposées pour marcher au tirage forcé à l'aide d'un système appliqué déjà avec succès sur d'autres navires de la Compagnie.

Deux moteurs compound à pilon de 100 chevaux environ, installés dans un compartiment spécial, sur le pont-promenade, au-dessus des cuisines, actionnent trois dynamos Bréguet fournissant la lumière élec-

trique exclusivement adoptée pour l'éclairage du navire : une des dynamos sert pendant le jour à l'éclairage des parties basses du navire, des chaufferies et des passages obscurs ; les deux autres dynamos servent pour l'éclairage de nuit.

J'ai été à même de constater que toute l'installation électrique était judicieusement combinée.

Je ne dirai que quelques mots de l'aménagement intérieur du navire, qui est absolument remarquable : le grand escalier d'accès dans les salons et les cabines de première classe est d'un effet grandiose ; le grand salon, luxueusement meublé, n'a pas moins de 17 *m* de longueur sur 15 de largeur.

Les cabines de première classe présentent le plus grand confortable ; les cabines de deuxième classe sont très convenablement meublées, enfin les entreponts inférieurs aménagés pour 600 émigrants nous ont paru vastes et bien aérés.

Somme toute, *la Touraine* peut recevoir 1 090 passagers de toute classe, savoir : 392 de première classe, 98 de deuxième et 600 de troisième classe (émigrants).

Je rappelle que la Compagnie a eu l'excellente idée, pour permettre aux passagers de s'orienter plus facilement dans les couloirs de cet immense bâtiment, de leur donner des noms de rues ; c'est ainsi que dans l'entrepont supérieur on trouve les rues de Paris, la rue de New-York, l'avenue des machines, etc., etc.

Construit à Penhoet (Saint-Nazaire), dans les chantiers de la Compagnie Transatlantique, le magnifique paquebot *la Touraine* fait le plus grand honneur à l'éminent et sympathique ingénieur en chef de la Compagnie, M. Daymard, ingénieur au corps des Constructions navales.

En terminant, Messieurs, je ne puis m'empêcher de vous exprimer un sentiment qui est venu certainement à la pensée de bien des ingénieurs assistant, comme moi, à l'inauguration de *la Touraine*.

Nous avons pu voir réunis à la fois dans le bassin de l'Eure, les trois plus grands navires de la Compagnie Transatlantique : *la Touraine*, *la Normandie* et *la Gascogne*. Ce dernier, arrivant de New-York, faisait majestueusement son entrée dans le port au moment où la fête battait son plein.

Ces trois cités flottantes paraissaient remplir ensemble le grand bassin de l'Eure. Mais aux yeux des hommes habitués aux questions maritimes l'insuffisance du port du Havre n'en subsistait pas moins, soit au point de vue de son outillage, soit au point de vue de la disposition de ses bassins et abords.

Le port du Havre, avec celui de Rouen, constitue à n'en pas douter, par sa situation à l'entrée du canal de la Manche et à l'embouchure de la Seine, le port essentiellement commercial de Paris et de toute l'Europe septentrionale sur l'Océan.

Les Chambres se proposent de décider quel sera le crédit à affecter aux travaux d'amélioration des ports du Havre et de Rouen.

En attendant la réalisation de ces travaux coûteux et d'une utilité incontestable, l'opinion publique suit avec intérêt toute solution maritime nouvelle dont le commerce de Paris serait l'objectif, et notamment

le projet *Paris port de mer*, la remarquable conception de M. Bouquet de la Grye.

A cet égard, ma dernière excursion au Havre n'a pu que raviver dans ma pensée l'intérêt de la communication que nous attendons aujourd'hui de ce savant Ingénieur et que je vous demande pardon d'avoir retardée de quelques instants.

M. LE PRÉSIDENT, avant de donner la parole à M. Bouquet de la Grye, tient à le remercier, au nom de la Société, d'avoir bien voulu accepter de venir nous donner des détails sur la situation actuelle de son projet *Paris port de mer*. Pour exposer un projet aussi important, nul ne nous a paru, dit M. le Président, mieux désigné que son auteur.

M. BOUQUET DE LA GRYE s'exprime ainsi :

MESSIEURS,

J'ai eu l'honneur, il y a neuf années, d'exposer devant vous un projet portant le titre de : *Paris port de mer*, et appuyé sur des documents très complets, provenant d'une étude faite en 1825, par des Ingénieurs qui, plus tard, se sont fait de grands noms dans la science. Je me souviens de l'accueil bienveillant qui fut accordé à cette communication, et je dois noter qu'au milieu des critiques qu'elle souleva, plusieurs des opposants furent loin de nier l'utilité d'une telle création.

Depuis cette époque, j'ai continué la campagne que j'avais entreprise pour faire entrer dans l'esprit des Français qu'un port intérieur était absolument indispensable à un pays qui veut agrandir son domaine colonial; que là où se trouve le siège de l'activité intellectuelle de la nation doit être le centre du mouvement d'expansion au dehors.

Malheureusement, le moment était passé où une grande prospérité financière autorisait de grands projets, où notre marché pouvait s'offrir le luxe d'une entreprise exigeant l'apport de plusieurs centaines de millions ; trop d'argent avait eté jeté dans la mer des Antilles.

D'un autre côté, le premier projet de Paris port de mer ne pouvait plus être accepté par les Chambres comme une création d'État, rémunérée directement par des taxes et indirectement par la plus-value donnée aux valeurs immobilières et par l'extension de nos relations commerciales.

Cette opération devait être envisagée uniquement comme une entreprise industrielle payant ses dépenses au moyen de bénéfices directs, et il a fallu par suite modifier grandement les premières dispositions qui vous avaient été présentées.

Ajoutons que, dans ces dernières années, des progrès ont été faits dans l'art des constructions; l'emploi des machines hydrauliques a permis de faire sasser les navires en vingt minutes au lieu de quarante, d'augmenter la hauteur des écluses, de diminuer de moitié la consommation du charbon dans les machines marines, etc.

Ce sont toutes ces conditions nouvelles qui m'ont fait modifier mes premières propositions, et un avant-projet présenté au ministre des Travaux publics, en 1886, a demandé la concession d'un canal maritime entre Paris et Rouen, sans subvention ni garantie d'intérêt, dans le cas où l'Etat ne voudrait pas faire lui-même l'opération.

Plusieurs d'entre vous, Messieurs, connaissent la filière par où a passé

cet avant-projet. A la suite d'un premier examen qui dura six mois, notre société d'études fut invitée à compléter le dossier qu'elle avait fourni ; un deuxième examen fut confié aux Ingénieurs de la navigation de la Seine et un rapport fait par l'Inspecteur général du service. Le tout fut ensuite soumis au conseil général des Ponts et Chaussées. Cette seconde série d'examens préliminaires a duré quinze mois. L'opinion du conseil fut : qu'au point de vue technique, le projet ne soulevait pas de difficultés en dehors de celles rencontrées et surmontées par nos Ingénieurs dans des entreprises similaires; mais, à côté de cette adhésion apparente, de nombreuses critiques, reproductions de celles faites par les Ingénieurs de la navigation, furent énoncées, visant le trouble apporté aux communications entre les deux rives du fleuve, ou les conséquences qu'entraînerait l'exploitation d'un canal maritime, pour le chemin de fer et la batellerie. La conclusion était qu'il n'y avait pas lieu de mettre le projet aux enquêtes prescrites par la loi de 1841.

Messieurs, lorsqu'une réponse est faite publiquement, que l'on y consigne les raisons qui font condamner ou tout au moins ajourner l'exécution d'un projet, son auteur ne peut se plaindre. Des hommes consciencieux ont donné leur avis motivé au ministre, le recours consiste à lui démontrer qu'il y a eu une erreur d'appréciation finale, que les Ingénieurs de la Seine ont été, malgré eux, juges et parties dans la question, et qu'ils l'ont envisagée sous un aspect qui n'était pas absolument le vrai. D'ailleurs, en déclarant qu'il n'y avait pas de difficultés techniques, le conseil jugeait le fond de la question, et l'on trouvait dans la discussion qui s'était élevée dans son sein des réponses à bien des points de détail qui avaient été critiqués.

Le Parlement, Messieurs, est alors intervenu, des projets de résolution lui ont été soumis, présentés par de nombreux députés et sénateurs, demandant la mise aux enquêtes pour avoir l'avis des personnes les plus intéressées dans la question, des indutriels, des commerçants et de la Ville de Paris.

En accordant cette enquête, il y a près d'un an, le Ministre lui donna les bases les plus larges, c'est-à-dire qu'il la fit ouvrir non seulement dans les départements intéressés, mais dans toute la France et les colonies et, pour que nul ne pût ignorer le sentiment des Ingénieurs de la navigation de la Seine, toutes les chambres de commerce ont reçu l'exposé de leurs critiques contre une entreprise que nous estimions de notre côté devoir apporter au pays un supplément de puissance et de richesse.

C'était fournir d'avance aux opposants, à Rouen et au Havre, villes qui se croient, à tort selon nous, lésées par l'ouverture d'un port intérieur, un thème très étudié de griefs, et à ceux que la grandeur de Paris effraie, des motifs tout préparés de réponses.

Messieurs, malgré cela, le résultat de l'enquête a été, en très grande majorité, favorable. Le projet a donc franchi la période d'instruction : il peut arriver aujourd'hui devant le Parlement.

Je crois, Messieurs, qu'il peut aussi être, avec fruit, développé devant vous, qui avez participé à tant de travaux : je vais vous en exposer les grandes lignes, ainsi que les principales objections auxquelles nous répondrons d'une façon qui vous paraîtra suffisante.

Je vous ai dit, Messieurs, que Paris port de mer avait été conçu dans un sens absolument commercial. Il y avait donc lieu, tout d'abord, de voir dans quelles limites devait se maintenir la dépense de l'exécution. Ceci pouvait être envisagé sous deux points de vue.

En premier lieu, puisque nous voulions apporter des facilités plus grandes au commerce parisien, il s'agissait de montrer que tout autre système employé pour faire arriver les marchandises à Paris serait plus onéreux.

Fixons donc tout d'abord le prix moyen du transport d'une tonne de marchandise entre Rouen et Paris, lorsqu'il sera effectué par navire de mer.

On sait qu'aujourd'hui, grâce à l'abaissement de la consommation du charbon dans les nouvelles machines marines, ce prix est descendu, dans les grandes traversées, à un quart de centime par tonne et par kilomètre. Augmentons ce chiffre de moitié, pour tenir compte des difficultés de la navigation dans un canal et du passage des écluses; on aura alors, pour une distance de 185 *km*, qui est celle du canal entre Paris et Rouen, 0,70 *f*.

Si les marchandises sont remises au chemin de fer de l'Ouest, il est impossible qu'en moyenne il ne les taxe pas à 0,03 *f* la tonne, ce qui, pour une distance par voie ferrée de 140 *km*, fait 4,20 *f*.

La différence de prix entre les deux modes de transport est de 3,50 *f*.

Or, si nous avons la prétention de faire de Paris une grande place commerciale, son tonnage sera en rapport avec le chiffre de la population, et des estimations qui ne peuvent être suspectes d'exagération font prévoir que ce tonnage s'élèverait en quelques années à 5 millions de tonnes.

Pour rendre dans ces conditions aux Parisiens un service équivalent à celui offert par les navires, il faudrait donc que l'on servît à la Compagnie de l'Ouest une annuité de 17 500 000 *f*, ou qu'on lui donnât un capital de 350 millions.

Les travaux de canalisation de la Seine, pour remplir au point de vue théorique le but proposé, ne doivent donc pas atteindre cette somme.

Ce résultat ne peut évidemment que fournir une première indication, car nous n'avons tenu compte d'aucune des économies accessoires qui accompagnent l'emploi de navires, tels que la suppression d'intermédiaires coûteux, des frais de surveillance, de magasinage, des déchets et pertes dus au transbordement, etc.; mais le chiffre présenté suffit pour montrer qu'au point de vue d'une Compagnie, il est impossible de proposer l'acceptation d'une œuvre grandiose, pouvant coûter, comme quelques personnes l'ont indiqué, près d'un milliard.

Un calcul du même genre peut être fait en ce qui concerne la batellerie; il conduit à des chiffres encore moins élevés.

Le prix moyen le plus bas qu'elle puisse consentir pour toutes marchandises est de 1 1/4 *c* par tonne et par kilomètre, dans les conditions de vitesse analogues à celles que la navigation maritime peut offrir.

La distance par la Seine entre Paris et Rouen étant, à l'heure actuelle, de 217 *km*, cela nous conduit au chiffre de 2,72 *f*, qui doit être augmenté de 0,75 *f* pour le transbordement supplémentaire : total, 3,47 *f*.

La différence avec les 0,70 *f* du transport par navire donne 2,77 *f*, qui, répété 5 millions de fois, conduit à une annuité de 13 850 000 *f* ou à un capital de 277 millions.

Ainsi, en faisant une batellerie d'État ayant cette dotation, on donnerait au commerce parisien des avantages apparents égaux à celui de la création d'un canal maritime.

Nous voyons encore une fois que le maximum de la dépense utile est peu élevé et qu'une telle entreprise, pour être prospère, doit être basée sur des travaux exécutés économiquement.

Ajoutons que cet avantage de 3 *f* par tonneau de marchandise transporté par navires, sur une batellerie d'Etat ou une Compagnie de chemin de fer faisant uniquement ses frais, ne représenterait que la moitié des bénéfices inhérents à la création du port de Paris. Les dépenses qui tiennent à l'emploi d'un intermédiaire ou aux taxes locales de Rouen conduisent, ainsi que l'a montré le rapporteur de la commission d'enquête de la Seine, au même chiffre ; de sorte qu'une taxe de 3 *f* par tonneau laisserait encore tout entière en faveur des navires une pareille différence.

Il est d'autres éléments du projet que nous ne pouvons passer sous silence.

En premier lieu, le tracé du canal doit-il être fait dans la vallée de la Seine (seule voie économique), en diminuant le plus possible sa longueur?

Cela peut être mis en équation : nous avons tous les éléments pour la faire.

On sait que la Seine décrit dans son parcours une foule de sinuosités. Prenons une des plus accentuées, celle des Andelys ; en coupant la presqu'île qui fait face à cette ville, on donne au trajet un raccourcissement de 11 *km*, ce qui, avec le prix indiqué pour le transport par navire, fait une économie de 0,041 *f*. En multipliant ce chiffre par 5 millions, on a une annuité de 206 000 *f* qui correspond à un capital de 4 140 000 *f*. Il y aura donc économie à couper la boucle, si le capital employé pour cela est au-dessous de 4 millions. Or, il dépasse 20 millions (1) ; nous devons nous abstenir.

Ce calcul, appliqué à toutes les boucles, conduit au même résultat : nous avons donc tout intérêt à faire suivre au canal le lit du fleuve, s'il ne présente pas des coudes trop accentués pour la manœuvre des navires ou, en certains points, des obstacles sérieux.

Messieurs, il y a quelques années, la question des rayons minima de courbure à donner à un canal maritime a été étudiée par moi avec soin, non seulement au point de vue théorique, mais aussi au point de vue pratique, en m'éclairant de l'expérience de bons marins et de ce qui se passe tous les jours dans nos fleuves.

J'étais alors arrivé à indiquer un rayon de courbure de 1 500 *m* comme n'offrant aucun inconvénient.

En réalité, le tracé d'une pareille courbe diffère assez peu de la ligne droite, puisque la flèche correspondant à une longueur de 120 *m*, qui

(1) En en déduisant le prix de construction du canal suivant le thalweg de la Seine.

sera la longueur maximum des navires fréquentant le port de Paris, est de 1,20 *m*.

Or, il n'y a qu'un seul point de la Seine où le thalweg suive une courbe dont le rayon soit inférieur à 1 500 *m* (R = 1 000 *m*), c'est devant Elbeuf, et on aurait pu même, en ce point, creuser un chenal dans des conditions acceptables, si un autre obstacle ne s'était présenté.

Le chemin de fer de l'Ouest traverse, comme vous le savez, six fois la Seine entre Paris et Rouen. Il était facile, *a priori*, de prévoir que la Compagnie qui l'exploite verrait une concurrence sérieuse dans une voie d'eau parallèle, et qu'elle s'opposerait, de tous ses moyens, à ce que l'on établisse des travées mobiles sur ses ponts.

Il importait donc de laisser, autant qu'il serait possible, le chemin de fer d'un même côté du canal, et de ne le lui faire franchir qu'une seule fois, en un point où l'élévation des rails serait suffisante pour ne gêner en rien le passage des mâts des navires.

Cette nécessité nous a conduit à couper deux boucles de la Seine, celle de Bezons-Sartrouville et de Tourville-Oissel; l'économie totale de parcours est de 32 *km*, mais nous avons dit que nous ne devions pas insister sur cet avantage.

Arrivons à une troisième question, qui peut être considérée également comme une question de principe: il s'agit des écluses.

Aujourd'hui, messieurs, nous sommes en présence de deux écoles : l'une qui tient pour les canaux à niveau, l'autre qui proclame l'emploi des écluses comme naturel et indispensable. Je sais bien qu'une troisième école, celle des mécaniciens, préconise les ascenseurs et verrait avec plaisir les navires arriver sur les hauteurs de Garches ; mais les avantages de ce système appliqué en grand ne sont pas encore suffisamment démontrés; d'ailleurs, dans le cas actuel, nous n'avons pas d'eau à économiser.

Pour ma part, tout en inclinant vers une solution qui se passerait d'écluses, je suis obligé, au point de vue économique, d'en admettre.

Seulement, comme chacune d'elles coûte cher, que l'expérience montre que, tous les trente ans, pour une cause ou pour une autre, il faut les modifier, j'en ai placé le moins possible : quatre entre Paris et Rouen, dont deux d'environ 6 *m* de hauteur, une de 4 *m* et une de 3 *m*.

Pour deux d'entre elles, on a utilisé des barrages existant à Poses et à Méricourt.

Les biefs qui seront ainsi créés auront les longueurs respectives de 80 *km*, 43 *km*, 17 *km* et 23 *km*.

Parlons maintenant de la largeur et de la profondeur du canal. La première dimension a été fixée à 35 *m* au plafond dans les parties droites et à 45 *m* dans les parties où le rayon de courbure atteint le minimum précité de 1 500 *m*. L'accroissement de largeur est huit fois la longueur de la flèche afférente à un navire de 120 *m*. Avec ces dimensions, on pourra, en prenant quelques précautions, faire croiser deux navires en marche.

La largeur de 35 *m* est peu différente de celle adoptée pour les grands canaux que l'on est en train d'ouvrir dans les pays du Nord, et elle est

une fois et demie égale à celle du canal de Suez, qui suffit à un trafic de 7 millions de tonnes.

Enfin, messieurs, la profondeur, dernier élément important, a été fixée à 6,20 *m*, chiffre qui permettra l'arrivée à Paris de steamers ayant au départ un tirant d'eau de 7 *m*, allégés qu'ils seront de leur combustible.

En thèse générale, les navires munis d'un water-ballast et calant à la mer 6,30 *m* à l'arrière pourront, en se mettant sans différence, remonter à Paris lorsque la Seine sera dans ses plus basses eaux.

Avec ce chiffre, la presque totalité des navires qui viennent au Havre pourrait remonter à Paris.

Il était d'ailleurs inutile d'adopter un chiffre plus élevé, notre canal aboutissant à Rouen devait subir les conditions mêmes de ce port, qui ne sont pas supérieures, dans les mortes eaux, à un tirant d'eau de 6 *m*.

Seulement, il est bien entendu que notre projet possède l'élasticité suffisante pour admettre de plus grands navires, lorsque la Seine maritime aura elle-même reçu les améliorations nécessaires. La largeur du canal ainsi que sa profondeur pourront être accrues par de simples dragages, et c'est pour prévoir cet avenir que les travaux d'art seront exécutés avec des profondeurs, sur les buscs des écluses, de 1,30 *m* au-dessous du fond général du canal, soit à une cote de 7,50 *m* au-dessous du plan d'eau des biefs.

Arrivons au devis de l'opération.

Il s'élève à la somme de 135 millions; ce chiffre comprenant la construction du canal et des ports, les ouvrages d'art, les déviations du chemin de fer, et des appontements en assez grand nombre pour recevoir un tonnage suffisant à la rémunération du capital.

Le ministre des Travaux publics, en vue des éventualités qui pourraient se produire, a désiré qu'une somme à valoir supplémentaire de 15 millions vint accroitre le total du devis. Il a été porté ainsi à 150 millions qui se décomposent en :

Terrassements, 67 millions de francs; les dragages dans le gravier étant payés 1,50 *f*, et dans la craie, 5 *f*; les déblais à sec, 2 *f*;

La transformation des ponts sur la Seine en ponts munis d'une travée mobile est estimée à plus de 500 000 *f* l'une;

L'acquisition des terrains entre pour une faible somme dans le total, parce que l'on suit presque partout le cours du fleuve; les déviations du chemin de fer sont estimées 10 millions; les intérêts, frais d'administration et la somme à valoir, à 33 millions.

Quant à la question du trafic, il a été fait. sur ce point spécial, une étude très complète par l'ancien chef de la partie commerciale du chemin de fer de l'Ouest, et le chiffre de 5 millions de tonnes auquel il arrive pour le mouvement des navires, au bout de la cinquième année d'exploitation du canal, est pleinement rassurant pour l'avenir de la Société de Paris port de mer.

Les recettes s appuieront sur une taxe dont le maximum est de 3,25 *f*, y compris les frais de pilotage, applicable à chaque tonneau de jauge des navires, soit à la montée, soit à la descente.

Nous avons dit en commençant que la différence de dépense s'élevait à environ 3 *f* entre un transport effectué par la batellerie pour un tonneau de

marchandise et ce même transport effectué par un navire, et qu'en payant une taxe de cette valeur, le bénéfice de l'armateur consisterait dans la suppression de tous les droits locaux du port de Rouen et des frais afférents à l'emploi des intermédiaires, etc., qui s'élèvent d'ailleurs à un chiffre égal. Il faut ajouter que la tonne de jauge correspond à beaucoup plus qu'un tonneau de marchandise et que, par suite, la taxe de 3 *f* rapportée à la première unité est en réalité plus faible d'un tiers par rapport à la seconde, si le navire est en pleine charge.

Ceci, messieurs, représente l'ensemble du projet ou, pour mieux dire, son squelette; l'exposé des détails excéderait le temps que vous pouvez consacrer à m'entendre; mais, pour connaître une œuvre et surtout pour en apprécier la valeur, rien ne vaut l'exposé des critiques auxquelles elle a donné lieu, ainsi que les réponses qui y ont été faites.

Or, messieurs, je vous ai indiqué que mon projet avait tout d'abord subi l'examen des Ingénieurs de la navigation de la Seine, qui lui étaient hostiles; c'est dans leur rapport que les opposants, que ceux qui se croient lésés dans leurs intérêts, ont puisé leurs principaux arguments et les ont développés devant les commissions d'enquête.

Je passe, messieurs, sur une première question qui partout ailleurs aurait de l'importance. Ce projet est-il réellement nouveau, son auteur a-t-il le droit de le réclamer comme absolument original ?

Non, messieurs, je l'ai bien imaginé de toutes pièces, le faisant cadrer avec les besoins du commerce, les nécessités de la navigation ou de la construction, le modifiant au besoin pour répondre à des réclamations souvent peu justifiées; mais, tous les jours, en fouillant les archives, je trouve épars les éléments que j'ai réunis. Une bibliothèque entière pourrait, en effet, être formée avec les projets qui, depuis deux cents ans, ont été conçus pour faire arriver les navires à Paris.

J'ai dit que celui-ci avait été étudié au moyen des levés faits par la grande Société de 1825. Il coupe, comme le canal proposé à cette époque, les deux boucles de Bezons-Sartrouville, Oissel-Tourville, aux points adoptés plus tard pour le tracé de la voie ferrée que nous devons longer. Il y a des écluses en moins grand nombre, il est vrai, que sur la Seine canalisée actuelle; mais le régime général du fleuve n'est pas modifié, et la meilleure expression qui pourrait être employée pour le caractériser, c'est de dire qu'il se borne à améliorer la situation actuelle.

J'ai d'ailleurs trouvé tout récemment, dans les archives du Ministère des Travaux publics, un document très ignoré, un projet dû à M. Belgrand, Ingénieur, dont la réputation a grandi même après sa mort, projet qui a été pris en considération par le Conseil général des Ponts et Chaussées. Or, le tracé de ce canal, qui, dans la pensée de son auteur, devait admettre des caboteurs, est le même que le nôtre : il coupe tous les ponts pour faire passer les mâts des navires; la seule différence est dans le tirant d'eau, qui est celui réalisé aujourd'hui, et dans le nombre des écluses.

Mon projet aurait donc, en naissant, une nombreuse famille; mais ce qui me semble lui être propre, c'est d'avoir été conçu assez économiquement pour pouvoir être présenté comme une œuvre commerciale, d'avoir résisté pendant dès années à des attaques passionnées et de ne

pas avoir été abandonné lorsqu'il trouvait en face de lui non des arguments, mais l'inertie administrative.

Arrivons aux critiques :

« 1° La profondeur de 6,20 *m* que nous avons adoptée a été jugée insuffisante ; pour avoir un véritable port, il faut admettre les navires dont le tirant d'eau approche de 8 *m*. »

Or, Rouen a atteint aujourd'hui un trafic de 2 millions de tonnes, et la Seine maritime n'a, dans les pleines mers de morte-eau, que juste ce qu'il faut de hauteur d'eau pour permettre la montée des navires d'un tirant d'eau de 6 *m*.

Paris suivra le sort de Rouen et grandira avec lui. Les travaux d'art du canal sont d'ailleurs en petit nombre et projetés avec une profondeur de 7,50 *m*. Lorsque la Seine maritime aura été améliorée, nous donnerons au canal en amont les mêmes profondeurs.

Et que l'on ne dise pas que le canal ne pourra recevoir que des navires d'un tirant d'eau de 5,50 *m*, par suite des difficultés de la navigation, de la différence de densité de l'eau.

A l'heure actuelle, les Ingénieurs estiment que des chalands peuvent caler 3 *m* avec une profondeur de canal de 3,20 *m*. C'est également un excès de 0,20 *m*. qu'avait admis M. Belgrand en 1855 ; comment ces mêmes 0,20 *m* ont-ils pu devenir 0,70 *m* dans les critiques de notre projet ?

La vérité est que les navires ayant un tirant d'eau de 5,90 *m* pourront remonter la Seine, et les nouvelles formes permettent de faire avec ces profondeurs des chargements de 5 000 *t*.

« 2° On a critiqué le rayon minimum de courbure que nous avions adopté en le déclarant insuffisant. »

J'ai indiqué que, dans la Charente, les navires ne ralentissaient pas leur marche en suivant une courbe d'un rayon de 800 *m*. Mais le peu de sérieux de cette critique m'a été démontré il y a quelques jours.

Le Sénat a en effet publié, à l'appui d'un rapport sur les projets de travaux du Havre, un plan sur lequel on a tracé en rouge deux routes suivies par des navires venant de l'ouest ou du sud-ouest.

Or, cette dernière route, qui est celle des transatlantiques, décrit une courbe d'un rayon de 1 200 *m*.

Si ces navires, qui ont une longueur de 180 *m*, un grand tardage et qui sont exposés à entrer dans cet avant-port par tous les temps, peuvent ainsi évoluer à la mer, on demande ce que devient la même objection s'appliquant à des bateaux moins grands, manœuvrant dans une eau calme et suivant une courbe beaucoup moins prononcée.

« 3° Les Ingénieurs et, après eux, des membres de Chambres de commerce ont trouvé la largeur du canal insuffisante. Les bateaux ne pourront se croiser en marche même ralentie, en n'ayant entre leurs bords qu'une largeur de quelques mètres. »

La réponse à cette objection a été faite par des marins ; je me bornerai à la demander à M. Belgrand, qui a admis un intervalle de 3,40 *m* entre les bateaux au moment du croisement.

« 4° On a dit que la navigation maritime et celle de la batellerie pour-

raient difficilement se faire en même temps dans un canal qui n'aurait qu'une largeur de 35 *m* au plafond dans les parties droites. »

Or, pour les profondeurs de 3 *m*, l'élargissement est de 13 *m*, ce qui fait 48 *m*, et il sera plus facile de naviguer dans un chenal balisé que dans le chenal actuel qui, en bien des points, n'a que 40 *m* de largeur et qui n'est pas limité.

5° Messieurs, il y a une question de plans d'eau qui a été soulevée et qui, à distance, paraît singulière : nous avons dit, en commençant, que les deux biefs supérieurs ont de faibles longueurs, 17 *km* et 23 *km;* dans cette partie du fleuve, son débit est relativement faible. Pour ces deux causes, j'ai jugé inutile de tracer là des profils de plans d'eau différant de l'horizontale. Dans les biefs inférieurs, au contraire, la Seine, grossie par les cours de l'Oise et surtout par les sources du fond, double, puis quadruple son débit; de plus, ces biefs ont des longueurs de 43 et de 80 *km*.

Il était impossible de les considérer comme ayant le régime d'un canal alimenté par des rigoles, dans la mesure de la dépense des éclusées et des pertes. La Seine reste avec sa qualité de fleuve coulant à la mer avec une pente que l'on peut calculer.

On m'a reproché cette pente si naturelle comme contraire à ce qui est enseigné, et j'ai été obligé de faire vérifier que les échelles placées sur les bajoyers des écluses accusaient, pour des distances moindres, des différences de hauteur de beaucoup supérieures à celles que j'avais indiquées.

« 6° On a prétendu que nous allions créer, dans la coupure de Tourville, un régime tel que la navigation deviendrait impossible en temps de crue par suite de la vitesse des courants. »

J'ai calculé, messieurs, quelle serait cette vitesse avec une inondation qui donnerait à l'entrée amont de la coupure une hauteur d'eau de 11,18 *m;* j'ai trouvé que la vitesse des eaux serait de 2,30 *m* par seconde: elle est loin de pouvoir empêcher la marche d'un steamer, et ce cas ne se présentera peut-être pas deux fois par siècle.

Les gens d'Elbeuf, qui voudraient voir les bâtiments passer devant leur ville, déclarent de leur côté que les eaux deviendront stagnantes dans cette boucle déshéritée, et que les vases mises à découvert à marée basse rendront la ville insalubre.

Cela pourrait avoir une apparence de réalité, au moins pendant la durée du jusant, si l'écluse de Martot, ainsi que le barrage, restaient fermés. Mais comme les bateaux trouveront, en amont de l'écluse et à toutes les marées, la profondeur de 3,20 *m* qui leur est promise, le barrage deviendra inutile et il pourra rester ouvert. On aura alors devant Elbeuf un courant qui se composera de partie de celui du haut du fleuve et de partie de celui dû au jeu des marées en amont de Martot.

Ce dernier seul, en morte-eau, donne un débit égal à celui de la Seine, à Paris, et enfin, car on se trouve placé à Elbeuf dans des conditions particulièrement favorables pour avoir, même en morte-eau, à peu près le courant que l'on désirerait; on pourra, avec quelques centaines de mille francs, ajouter au courant naturel un débit supplémentaire égal encore une fois à celui de la Seine à Paris.

Ainsi nous apporterons plutôt une amélioration à l'état actuel qu'une gêne aux habitants d'Elbeuf.

7° On a reproché au projet de porter dans les faux bras de la Seine une bonne partie des alluvions ou des graviers que les dragues enlèveront du chenal.

L'on indiquait qu'en agissant ainsi on détruirait l'aspect de la Seine, on supprimerait une partie des agréments que les riverains tirent du voisinage du fleuve et enfin que l'on augmenterait la hauteur des crues.

J'ai pu répondre que, sur le premier point, nous ne faisions que continuer les errements des Ingénieurs de la navigation qui, en vingt-deux endroits différents, ont fait des dépôts de produits de dragage entre les îles et la terre; il n'y aura, du chef de ces dépôts, aucune atteinte aux beautés du paysage; les îles seront assainies par leur surélévation, et, enfin, comme, en temps de crue, on a dans la partie inférieure du fleuve deux émissaires au lieu d'un seul, il en résultera un abaissement des eaux dans toute la portion aval de la vallée, près de l'embouchure de l'Eure, et cet abaissement se propagera en amont, car partout on donne au chenal une section ou supérieure ou ayant un périmètre moindre.

8° On a reproché au projet que nous avons présenté de ne pas donner les détails des travées mobiles des ponts, d'avoir passé sous silence le tracé même du port de Paris, de ses cales de halage ou de ses bassins de radoub, etc.; bref, de n'avoir pas donné un projet suffisamment étudié.

La réponse est facile : Nous n'avons pas présenté un projet d'exécution avec les détails qu'il comporte parce que la coutume et la loi demandent seulement que l'on fournisse au ministre un avant-projet. Ce dernier a reçu plus de développements qu'aucun projet du même genre; le Conseil général des Ponts et Chaussées n'a réclamé aucune pièce supplémentaire, sachant que chacun des points de détail lui sera ultérieurement soumis. Quant au port de Paris, c'est avec intention qu'aucun dessin des ouvrages qu'il comporte n'a été publié, pour des raisons faciles à comprendre.

9° Nous avons trouvé partout la répétition de ce qui était porté dans le rapport des Ingénieurs, « que le devis n'était pas exact et qu'il fallait le majorer d'une forte somme, » sans indiquer pourtant les nouvelles bases d'une estimation plus exacte.

Nous croyons qu'aucun mécompte ne se produira parce que les travaux d'art dans le fleuve, ceux sur lesquels pourraient se produire des mécomptes, entrent dans le devis pour une faible somme.

La majeure partie des dépenses consiste dans des dragages et nous les avons portés au double des prix consentis, dans des conditions presque similaires, dans la rivière de Bordeaux.

Dans tous les cas, on a porté pour mémoire aussi le double de ce qui figure ordinairement dans les estimations; il est bien probable que cela sera suffisant.

J'ajouterai que les ouvrages nouveaux devront être construits comme ceux du canal de Manchester, avec la plus stricte économie.

10° On a fait une véritable campagne pour soulever la batellerie contre notre projet. En réalité, nous croyons qu'elle bénéficiera du nouveau régime. A l'heure actuelle on dit à la batellerie de se transformer, d'aban-

donner ses chalands calant 2 *m* ou 2,20 *m* pour en adopter de plus grands, qui ne pourront d'ailleurs naviguer qu'entre Paris et Rouen.

En augmentant, dans une grande proportion, le tonnage de la Seine, au détriment de celui des ports étrangers, nous fournirons au contraire un nouvel aliment à la batellerie actuelle, qui n'aura pas à subir les pertes de la transformation de son matériel.

11° On a objecté contre notre projet les interruptions de la circulation sur les ponts, et une vive résistance a été faite, surtout en ce qui concerne les ponts de Rouen.

Or, à Paris même, le pont de la rue de Crimée est mobile, la circulation charretière est la même que celle des ponts de Rouen, le pont s'ouvre autant de fois que s'ouvriront les ponts de Rouen pour un trafic en amont de 5 millions de tonnes, il n'est donc pas admissible de s'arrêter à cette objection.

Il est, d'ailleurs, beaucoup de villes qui ont les mêmes sujétions et qui ne les trouvent pas gênantes.

12° Le chemin de fer de l'Ouest n'a pas cru qu'il suffisait de supprimer les ponts mobiles sur la ligne de Rouen à Paris et il a demandé que sur la ligne d'Argenteuil, notamment, on ne mît pas une travée mobile eu égard au nombre de trains qui passeront sur ce pont et que les Ingénieurs de la Compagnie estiment devoir s'élever à 240 par jour.

Nous avons, il est vrai, trouvé ce chiffre absolument exagéré, mais tout en étant persuadé qu'il était admissible de faire marcher d'accord la navigation maritime et le mouvement des trains, comme il était possible de surélever assez la voie pour permettre le passage des navires au-dessous, cette solution a été présentée comme variante.

La fixation de la hauteur du pont d'Argenteuil au-dessus du plan d'eau à 22,50 a entrainé une variante du projet en aval, près de Rouen; il était en effet inutile de faire traverser le canal par la voie ferrée à une hauteur de 40 *m* si en amont on trouvait un obstacle moins élevé.

Dans cette variante, la déviation de la voie ferrée est moins étendue, les pentes actuelles sont conservées, les gares de triage sont peu déplacées et la plupart des objections de la Compagnie de l'Ouest disparaissent.

13° On a dit aussi que le canal maritime trouverait des adversaires parmi les protectionnistes, qui sont nombreux dans le Parlement, en raison de ce que ce canal permettra l'introduction à meilleur marché des marchandises étrangères.

Mais ces contradicteurs oubliaient que des droits de douane peuvent obvier à ce danger et que l'abaissement des prix de transport est alors une véritable prime donnée à l'exportation.

14° D'autres adversaires ont demandé de ne pas se presser avant d'adopter la solution du canal maritime, qu'il fallait voir dans quelle mesure la batellerie pourrait satisfaire aux besoins, qu'elle grandissait, que ses prix diminuaient et qu'il n'était pas sage de courir à une solution nouvelle avant que la précédente ait produit ses effets.

Le malheur du régime actuel est que les chalands tiennent beaucoup de place dans le fleuve; si leur nombre double ou triple, on sera obligé ultérieurement de doubler la largeur du canal pour permettre le mou-

vement des deux navigations, d'où une dépense double. Il faut au contraire agir vite et reconnaître qu'on a trop attendu.

15° On a enfin dit que Clichy n'est pas Paris et qu'il y aurait un mouvement de camions qui est en partie évité à l'heure actuelle.

A cette objection, il est facile de répondre que le port de Clichy sera placé aussi près du centre de gravité de la population que les gares d'Orléans, de Lyon ou que le bassin de la Villette.

On a parlé de l'opposition des marchands de vins de Bercy. Or, les plus grandes maisons de l'entrepôt ont signé la pétition demandant la construction du canal maritime.

16° Arrivons à la question des prix de transport.

Nous l'avons résumée en quelques lignes en commençant; elle peut être formulée beaucoup moins simplement si on veut entrer dans les détails, mais, en somme, tout est connu dans cette matière et il semblerait *a priori* difficile qu'il y ait deux sentiments sur la manière de l'envisager.

Autrefois, le Havre avait beaucoup écrit pour persuader à Rouen qu'il était inutile de chercher à galvaniser son port, qu'une batellerie bien organisée, passant par un canal qui devait être celui de Tancarville, pouvait suffire au commerce de la basse Seine et qu'il fallait se borner à agrandir le port du Havre.

Rouen prétendait, au contraire, qu'il y avait avantage à faire remonter les marchandises le plus loin possible dans l'intérieur des terres.

Les deux ports ont lutté ainsi pour arracher à l'État des subventions, pour améliorer l'estuaire ou pour donner au Havre de nouveaux bassins.

On sait que ces demandes ne sont pas moins pressantes aujourd'hui qu'hier; seulement, devant la prospérité du commerce de Rouen, le Havre ne dit plus que ce port est inutile, mais les deux villes s'unissent pour déclarer que les navires ne doivent pas dépasser les ponts fixes qui limitent, suivant eux, la zone maritime appartenant de droit aux navires.

Je pensais, toutefois, qu'au moins au point de vue théorique la question était tranchée, nos Ingénieurs ayant voté au congrès de Bruxelles la formule relative aux voies maritimes de pénétration.

M. LE PRÉSIDENT ayant demandé si quelqu'un désirait présenter quelques observations ou poser quelques questions, M. BADOIS prend la parole.

Quoiqu'il ait suivi avec la plus grande attention le remarquable exposé de l'éminent membre de l'Institut, M. BADOIS n'est pas convaincu; il croit même indispensable que, dans la Société, il ne soit pas le seul à exprimer des doutes sur l'efficacité du projet de Paris port de mer, qui tend à bouleverser le régime hydrographique et hydrologique de la Seine, de Rouen à Paris.

N'étant pas prêt, M. Badois ne saurait, dans cette même séance, entrer dans le fond de la question; il se réserve de présenter des arguments plus approfondis le jour où la discussion sera portée à l'ordre du jour. Il voudrait démontrer:

1° Que le projet est dangereux pour la vallée de la Seine, dangereux

pour son agriculture, pour son industrie, pour ses relations de rive à rive ;

2° Que la solution proposée pour augmenter la puissance commerciale de la capitale est une erreur et n'a pas, en ce moment, une utilité bien positive; que d'ailleurs la Seine, telle qu'on l'a faite actuellement, est en état d'amener 6 millions de tonnes, alors qu'elle n'en amène que 1 200 000;

3° Que même en supposant que le courant commercial se reporte plus rapidement que dans les dernières années de Rouen sur Paris, par le fait de la création d'un canal maritime, il n'en reste pas moins impossible de songer à amener à Paris, d'une façon régulière, des navires de 1 000, 2 000 et 6 000 *t*.

Ce ne sont pas des raisons techniques qui s'opposeront à l'établissement de ce courant commercial; les navires n'y viendront pas, parce qu'ils n'y trouveront pas d'avantage financier. Un navire de mer représente un trop gros capital, entraine des frais journaliers trop considérables, qui se manifestent pratiquement par des surestaries de 1 000 *f*, 1 500 *f*, 2 000 *f* par jour, pour qu'un armateur consente à perdre, en temps normal, plusieurs jours et, en cas de crues, de gelées, plusieurs semaines pour l'envoyer à Paris. Il préférera toujours, au prix d'un double transbordement, se libérer immédiatement à Rouen même, en déchargeant, soit à quai, soit sur des chalands de 500, 600 et 800 *t*, qui amèneront la cargaison à Paris.

4° M. Badois voudrait encore démontrer que, même si les navires de mer venaient à Paris, le voyage d'aller et retour coûterait toujours par tonne plus cher qu'il ne coûte actuellement, et cela à cause de l'acquit des droits réclamés par la C^ie^ Paris-Port de mer.

Ce sont ces différents points que M. Badois voudrait entendre élucider dans notre Société.

Il a été frappé, de plus, d'entendre M. Bouquet de la Grye invoquer la raison patriotique, alors que c'est précisément par patriotisme qu'il vient combattre une dépense inutile de 250, ne fût-ce même que de 150 millions ; car il est persuadé que de pareilles sommes pourraient être beaucoup plus utilement employées.

M. Badois croit que la Seine suffit pour établir les relations de Paris vers l'ouest. Si on veut augmenter les relations commerciales de Paris, M. Badois voudrait voir les efforts se porter vers d'autres directions, par exemple vers Dunkerque ou Boulogne, par la création d'un canal qui relierait les houillères du Nord à la capitale.

M. Badois demande donc que la discussion de l'important travail de M. Bouquet de la Grye soit ajournée à quelques semaines, quand on aura eu le temps de lire et d'étudier le rapport dans son entier ; il croit que les sérieuses objections des Ingénieurs de la navigation et du Conseil des Ponts et Chaussées doivent attirer l'attention et que les réponses diverses des Chambres de commerce ne doivent être prises en considération qu'après un sérieux examen.

M. Badois est persuadé qu'en y réfléchissant bien on trouvera qu'il y a des raisons déterminantes pour que Paris-Port de mer se fasse autre-

ment que par la transformation de la Seine en canal maritime de Rouen à Paris.

M. LE PRÉSIDENT rappelle que les communications faites par un membre n'engagent absolument en rien la Société. La tribune est libre, et il a toujours été reconnu à chacun le droit d'émettre son opinion, même un peu excentrique et un peu exagérée, ce qui n'est pas le cas aujourd'hui. Il ajoute que la discussion n'est pas close et sera maintenue tant que les membres de la Société voudront présenter des observations à la communication si élégante faite par M. Bouquet de la Grye.

M. LEBRUN se déclare partisan du projet de M. Bouquet de la Grye et demande en conséquence que l'examen en soit remis à une prochaine séance, pour que la discussion puisse être complète et approfondie.

M. LE PRÉSIDENT donne la parole à M. J. Fleury.

M. FLEURY demande à soumettre à la Société quelques réflexions sur le projet de Paris port de mer. — Il fait d'abord observer que le chiffre de 5 millions de tonnes qui est le point de départ et comme la justification de l'argumentation de M. Bouquet de la Grye est un chiffre tout à fait hypothétique. Il dépasse de beaucoup les tonnages cumulés de Rouen et du Havre, et encore dans ceux-ci, il y a à tenir compte des transatlantiques et autres navires à grand tirant d'eau. Avec la modeste profondeur de 6,20 *m* on ne doit pas s'attendre à recevoir dans le canal projeté autre chose que le cabotage — le grand cabotage si l'on veut — dont le tonnage est bien loin d'atteindre le chiffre adopté comme axiome initial par l'auteur du projet. — Ce qui est encore plus hypothétique c'est le coût du transport d'une tonne de marchandise par navire de mer entre Rouen et Paris. M. Bouquet de la Grye l'évalue à 0,70 *f*, mais il ne tient compte que de la dépense en charbon. Ne sera-t-elle que de 0,70 *f* ? Et en outre, les salaires et les vivres de l'équipage, et toutes ces autres dépenses — sans compter intérêt et amortissement — qui grèvent si lourdement le navire de mer d'aujourd'hui et font monter la starie quotidienne à 1000 et 1200 *f* pour les navires de la dimension admissible dans le canal projeté, il faudrait en tenir compte. Il n'est pas non plus très exact de comparer cette dépense prétendue de 0,70 *f* au tarif du chemin de fer, et au fret de la batellerie, qui doivent couvrir non seulement les dépenses de traction, mais encore toutes les autres. Le chemin de fer d'ailleurs, peut, quand il s'agira de trains complets — comparables au chargement d'un navire — faire des transports à prix très réduits, et de même quand la batellerie aura terminé la transformation et le perfectionnement de son outillage, elle diminuera encore ses prétentions actuelles. — Chemin de fer et batellerie ont d'ailleurs l'avantage d'apporter les marchandises aussi près que possible des magasins et des usines des destinataires. — Le canal projeté s'arrêterait au contraire à Clichy, et après débarquement, il faudrait un coûteux camionnage pour atteindre le centre industriel et commerçant de Paris, après avoir franchi cette gênante gibbosité des Batignolles. — Ce serait une bien autre dépense que celle du transbordement à Rouen dont on a beaucoup trop grossi l'importance.

M. Fleury signale ensuite les difficultés qui attendent la navigation dans le canal projeté. Les courbes de 1 500 *m* y forment près du quart du tracé; celles de 1 500 *m* à 2 100 *m*, un autre quart : le navire de mer, peu propre par sa construction même et les dimensions restreintes de son gouvernail, à la navigation dans les chenaux étroits, aura grande peine à se tenir sur l'axe dans un canal aussi contourné et sinueux, surtout avec la complication du courant. L'échouage y sera fréquent, et la première conséquence de l'échouage, c'est un retard, non seulement pour le navire échoué, mais pour tous ceux à qui il barre la route. Déjà d'une circulation difficile pour un navire seul, le canal projeté sera impraticable pour le croisement de deux navires marchant à contre-bord. M. Bouquet de la Grye ne s'effraie pas de cet étroit intervalle de 4 *m* qui les séparera au moment du croisement. Mais les capitaines et surtout les Compagnies d'assurances auront quelque appréhension à cet égard.

A ces difficultés s'ajoutent celles résultant du passage dans les écluses et à travers ces vingt-six étroites ouvertures de 30 *m* pratiquées dans les ponts.

M. Fleury croit que couper les ponts, c'est porter atteinte à des intérêts considérables, ayant une longue possession d'état. Il cite la circulation très active qui existe sur les ponts de Rouen notamment (plus de 5 000 colliers et de 27 000 piétons par jour). Les couper, c'est faire de Rouen deux villes distinctes et porter atteinte à un des centres les plus industrieux et les plus commerçants du pays. Invoquer la règle de la suprématie du domaine maritime ne suffit vraiment pas dans un cas pareil. Que ne fait-on passer le tracé derrière le faubourg Saint-Sever ? L'inconvénient existerait encore, mais enfin il serait moindre.

La coupure des ponts du chemin de fer de l'Ouest ne semble pas admissible à M. Fleury. Il faut ici, comme à Manchester, que tous les ponts de chemin de fer soient des ponts fixes placés à une hauteur suffisante : 23 à 25 *m* paraissent strictement suffisants. Et encore, les rampes d'accès, les déviations, ne seront pas pour améliorer le profil de cette ligne si importante.

M. Fleury signale enfin la transformation fâcheuse imposée aux rives et aux îles de la Seine, où le projet prétend déposer les 41 millions de mètres cubes de déblais, gravier, craie, etc., que fournirait le creusement du lit.

Cependant, M. Fleury ne répudie pas la formule adoptée par le Congrès de navigation de Bruxelles et que vient de rappeler M. Bouquet de la Grye. Il est tout à fait d'avis qu'il est avantageux qu'un canal maritime pénètre le plus loin possible dans l'intérieur des terres. Cela signifie que les marchandises doivent pénétrer le plus loin possible au plus bas prix possible. Le canal maritime doit fournir cet avantage économique; autrement, où est son utilité ?

Or, de quelque façon qu'on s'y prenne, on n'arrive pas à trouver que ce canal, sur lequel la tonne de jauge paiera 3,25 *f* à la remonte, autant à la descente, puisse procurer aux marchandises une économie de transport appréciable sur les moyens actuels, surtout en tenant compte de la rareté du fret de retour.

M. Fleury rappelle que ce n'est pas la première fois que la question

de Paris port de mer agite l'opinion. En 1824, un grand projet fut élaboré par l'ingénieur Berigny et une Société à la tête de laquelle était notre illustre Flachat le prit à son compte. A cette époque, la Seine était à peine navigable : par endroits, on n'y trouvait pas 0,60 *m* de mouillage; on mettait souvent près d'un mois à venir à Paris; le fret pour 1 000 *kg* atteignait 40 *f* et plus. On n'avait pas non plus de chemins de fer, le roulage ne prenait pas moins de 35 à 50 *f* entre Rouen et Paris. C'était alors une grande et utile conception que celle d'un canal maritime amenant les marchandises à bas prix à Paris. Mais aujourd'hui, avec le chemin de fer, avec les magnifiques travaux qui assurent à la Seine un tirant d'eau de 3,20 *m*, les marchandises viennent à Paris en 28 ou 30 heures, à raison de 3,50 à 4 *f* la tonne et à Clichy pour 3 *f* — et demain, ces prix seront encore moindres. — Et alors, pourquoi le canal maritime? Quel avantage offrira-t-il? Flachat aujourd'hui serait le premier à déclarer qu'il est sans utilité, puisqu'il n'offre pas d'économie sur le transport. Or, l'utilité est, surtout dans des questions aussi coûteuses, la mesure des efforts à faire, des dépenses à engager. Qu'on ne se laisse donc pas fasciner par tous ces projets, dont beaucoup n'aboutiront jamais, qui voudraient transformer les capitales et d'autres grandes villes en autant de ports de mer.

Enfin la formule sans subvention ni garantie d'intérêt n'est qu'un leurre. Aliéner une partie du domaine public et une partie aussi importante que la Seine est bien une subvention — et une grosse subvention — et sans utilité pour le pays.

Concluant, M. Fleury rend très volontiers hommage à la pureté d'intention de l'honorable M. Bouquet de la Grye et du vénérable amiral Thomasset. Mais il persiste à croire que tout ce que pourrait nous offrir le canal de Paris port de mer, la Seine, dans son état actuel, nous le donne dès maintenant, aussi bien et au même prix.

M. Bouquet de la Grye demande à répondre quelques mots et s'exprime en ces termes :

En réponse aux objections qui viennent d'être présentées, je ferai remarquer que l'arrivée des navires à Paris est indispensable si l'on veut reprendre au port d'Anvers le trafic de l'est de la France, perdu aujourd'hui pour les ports de Rouen et du Havre.

Lorsque j'ai fait, en 1878, des cartes de possibilité commerciale de nos différents ports de Dunkerque, du Havre et de Rouen, j'ai reconnu qu'il leur était impossible de lutter contre le commerce d'Anvers, et ce qui s'est passé depuis cette époque a donné pleine raison à ces vues théoriques.

C'est pour cela, et uniquement pour cela, que, trouvant que le port de Paris était, au contraire, placé dans des conditions favorables, j'ai cherché si, pratiquement, il pourrait être réalisé.

M. Fleury a critiqué l'emploi des courbes dans le tracé du canal et indiqué que celles de 1 500 *m* occupent une bonne partie du parcours. En examinant rapidement le tracé, on ne trouve que 36 *km* sur 185. Ce chiffre est certainement élevé, mais ces courbes, visibles sur un plan, seront peu sensibles en navigation.

En ce qui concerne la difficulté de suivre un canal de 35 *m* de largeur au plafond, elle serait considérée comme exagérée à Saint-Pétersbourg, à Amsterdam, à Manchester. et si cette difficulté est apparente à Suez, c'est, il ne faut pas l'oublier, que les navires y ont en longueur les dimensions les plus grandes et que la largeur du canal n'est que de 22 *m*. D'ailleurs, malgré ces inconvénients, le canal de Suez a un trafic de sept millions de tonnes. N'est-ce pas une réponse suffisante aux difficultés qui viennent d'être énumérées ?

M. Fleury a parlé aussi des arches de 30 *m* qu'on ne pourrait *enfiler*. Mais ceci est pratiqué tous les jours sur la Seine; l'ouverture utile y est de beaucoup plus étroite, la manœuvre des remorqueurs et des remorqués infiniment plus difficile.

Quant au nombre de fois que les passants seront obligés de s'arrêter devant une travée mobile ouverte : le chiffre ne sera pas considérable, treize fois en moyenne par jour pour un trafic de cinq millions de tonnes. A chaque fois l'ouverture ne durera que quelques minutes; il y a donc exagération évidente dans les récriminations préventives.

A Paris, le pont de la rue de Crimée s'ouvre plus souvent, et chaque fois l'ouverture dure plus longtemps, les chalands étant halés à la cordelle. On a dit que sur le canal de Manchester, on avait surélevé tous les ponts, mais on a oublié de parler du pont-canal qui doit s'ouvrir devant chaque navire et être fermé pour le passage de chaque chaland. Un tel ouvrage n'aurait certainement pas été admis en France.

Je terminerai en protestant contre l'affirmation que Paris n'a qu'une exportation de modes, d'articles-Paris et de bijouterie.

Les ouvriers de la capitale, qui forment la grande majorité de ses habitants, fabriquent des produits lourds et encombrants qui sont expédiés en nombre à Anvers, à Rouen et au Havre.

Paris a un commerce de plâtres qui doit devenir considérable.

C'est dans les travailleurs, patrons et ouvriers, qu'ont été recueillies les 245 000 adhésions au projet de Paris port de mer.

Il semble donc singulier qu'on vienne combattre un projet qui a eu l'assentiment des négociants et qu'ils déclarent vouloir payer.

Mais ce qui est vrai, en général, perd quelquefois cette qualité en Normandie; et les deux grandes villes de cette province se sont évertuées pour prouver qu'il y avait avantage pour un négociant parisien à continuer à faire ses affaires par l'intermédiaire d'un correspondant.

Ce ne serait, disent-ils, pas exact s'il n'y avait pas de taxe; mais, d'un autre côté, si on l'abaissait la Société serait ruinée.

Pour l'aider à supporter le fardeau des intérêts du capital dépensé on demande que la Société construisant des quais ne perçoive pas le droit de quai, que la batellerie pût se servir gratuitement de tous les ouvrages de la Société et qu'elle demeure, en réalité, propriétaire usager du nouveau canal. Ces raisonnements ne sont pas sérieux. Ils sont, en outre, contradictoires.

On ne peut dire à la fois que la batellerie triomphera des navires et que Rouen, le Havre, Dunkerque, Boulogne seront ruinés.

Les Ingénieurs de la navigation affirment le premier point; leur ins-

pecteur général de son côté prétend que les bénéfices de la Société seront considérables, excessifs.

Le chemin de fer de l'Ouest, à qui la batellerie a enlevé déjà presque tout son trafic, semble croire qu'on lui ôtera plus que ce qui lui reste.

Bref, en prenant à la lettre ce qui a été écrit, il n'y aurait pas de calamité comparable à celle qu'apporterait une nouvelle amélioration de la Seine.

Voici, en effet, ce que dit hier, dans une pétition au Sénat, M. de Coëne, ingénieur, qui est à la tête d'une ligue pour la défense des intérêts de la basse Seine : « La question de Paris port de mer doit donc être résolue avant tout, car il serait impossible à Rouen et au Havre de pouvoir baser des emprunts sur la ruine de leurs ports et de leurs villes. »

Messieurs, la conclusion est absolument exagérée. En luttant pour reprendre à la Belgique, à l'Allemagne, à l'Angleterre, le mouvement commercial que nous avons perdu, celui que nous devrions avoir, en suscitant à Paris même des entreprises maritimes ou coloniales, nous n'avons voulu ruiner personne et l'enrichissement de la capitale ne nuira aucunement au commerce des autres villes.

Il se créera à Paris des relations plus intimes avec le monde extérieur et en les provoquant, soutenus comme nous le sommes par l'assentiment de la population parisienne, nous croyons avoir fait un acte d'ingénieur regardant l'avenir à l'aide du passé et aussi un acte de bon citoyen.

M. le Président remercie M. Bouquet de la Grye de sa très intéressante communication. Certaines questions n'ont pas été soulevées, telles par exemple que celle de l'importation à l'intérieur de la France.

La discussion sera donc continuée et le jour en sera fixé ultérieurement. Mais il faut que le procès-verbal de cette séance ait été publié, afin que chacun ait le temps de l'étudier.

La séance est levée à onze heures un quart.

CONGRÈS DES SOCIÉTÉS SAVANTES A LA SORBONNE EN 1891
Séance du 25 Mai 1891.
Section des Sciences économiques et sociales.

LA PAIX DES ATELIERS

INSTITUTIONS DE NATURE A FACILITER LA CONCILIATION ET L'ARBITRAGE

ENTRE

PATRONS ET OUVRIERS

PAR

M. A. GIBON

INGÉNIEUR DES ARTS ET MANUFACTURES,
ANCIEN DIRECTEUR DES FORGES DE COMMENTRY, VICE-PRÉSIDENT DE LA SOCIÉTÉ D'ÉCONOMIE SOCIALE

« Il est indispensable au bien de la patrie que l'accord règne entre le capital et le travail. »

Chevalier de MOREAU.

Le Congrès des Sociétés savantes a rétabli cette année dans son programme une question très actuelle, dont je transcris l'énoncé :

« Étudier en France et à l'étranger les institutions qui sont de nature à faciliter l'arbitrage et la conciliation entre patrons et ouvriers. »

Cette étude est à la fois délicate et complexe ; déjà, l'année dernière, nous étions en sa présence et, envisagée dans son ensemble, elle nous a effrayé. Nous nous sommes borné à traiter l'un des points qu'elle renferme, l'accord sur le salaire, par une étude sur *les divers modes de rémunération du travail* (1). Aujourd'hui, la délégation de la Société des Ingénieurs civils au Congrès des Sociétés savantes (2), a jugé que son devoir était de se placer bien en face de cette importante question ; elle m'a fait l'honneur de me nom-

(1) Guillaumin et Cie, éditeurs.

(2) Les membres de cette délégation sont : MM. Paul Buquet, président, vice-président de la Société des Ingénieurs civils ; E. Bert, ingénieur, docteur en droit ; Gibon, ancien directeur des usines de Commentry ; E. Gruner, ingénieur civil des mines, secrétaire du Comité central des houillères de France ; Aug. Moreau, professeur au collège Chaptal ; H. Rémaury, ingénieur-conseil.

mer son rapporteur; les membres de cette délégation se sont réunis plusieurs fois, pour s'entendre sur les principes et sur les faits qui devaient servir de base à leur étude, puis à leur conclusion. C'est donc un travail collectif que je vais présenter au Congrès, et, bien que la Société des Ingénieurs civils, d'après ses statuts, ne soit pas solidaire des opinions émises par ses membres, c'est une délégation nommée par elle, comprenant, dans son sein, l'un de ses vice-présidents, qui vient exposer au Congrès son avis sur l'un des points les plus importants de la paix des ateliers. Elle n'a du reste d'autre ambition que d'apporter une pierre utile à la solidité de l'édifice, dont le Congrès provoque la construction.

Notre travail est divisé en deux parties: La première partie comprendra une comparaison succincte, de l'industrie ancienne et de l'industrie moderne, un examen de la situation de l'ouvrier dans nos puissantes Sociétés anonymes, le caractère des grèves et des congrès ouvriers, en France et à l'étranger. La deuxième partie, naturellement la plus importante, exposera les institutions des pays industriels d'Amérique et d'Europe, qui sont de nature à faciliter la conciliation et l'arbitrage entre patrons et ouvriers; particulièrement, en Angleterre et en Belgique, elle fera l'examen des études qui ont été faites en France, depuis vingt années, sur cette importante question et présentera les conclusions de la délégation.

Nous entrons en matière sans plus long préambule.

PREMIÈRE PARTIE

Patrons et Ouvriers. — Grèves et Congrès.

Nous chercherons d'abord, à préciser comparativement la situation relative du patron et de l'ouvrier, dans l'état ancien et dans l'état nouveau de l'industrie.

Dans l'état ancien, et nous ne reculons pas d'un siècle pour nous y reporter, le patron, c'est-à-dire le manufacturier, l'industriel, était à la fois le capitaliste, le technicien, le négociant de l'industrie qu'il pratiquait, il y engageait toute sa fortune, celle de sa famille et tout son honneur; vis-à-vis des tiers, il était absolument responsable jusqu'à sa dernière obole.

La force motrice dont il pouvait disposer était limitée. Quelque-

fois celle de l'ouvrier suffisait, il employait souvent les animaux, les chevaux surtout; puis le vent, les chutes d'eau et même la vapeur, jusqu'au moment où les perfectionnements apportés aux machines à vapeur, par la science et par l'expérience, ont permis d'obtenir de ces nouveaux moteurs des forces indéfinies.

La grande industrie, qui constitue réellement l'industrie moderne, ne date que de cinquante à soixante ans. Jusque-là, avec le patron, tel que nous venons d'en faire le portrait, l'exploitation était limitée, comme la puissance motrice et le personnel ouvrier, qui va nous occuper particulièrement, l'était lui-même; son chef, responsable sous tous rapports, était en communication constante avec son personnel, il en connaissait tous les membres, ce personnel constituait pour lui une famille spéciale; la permanence des engagements était absolue, souvent de père en fils, c'était là un état social parfaitement équilibré, il n'était pas question de grèves. On en cite dans le passé, mais elles ont des causes générales d'un caractère tout exceptionnel.

Aujourd'hui, la situation de l'industrie est tout autre. La science l'a complètement transformée, ses progrès ont fait de la machine à vapeur un outil d'une force sans limite, qui permet à l'homme de pénétrer dans les entrailles de la terre et de fouiller son sol sur l'épaisseur d'un kilomètre, d'en extraire les richesses; toutes les sciences donnent leur concours à cet engin puissant, qu'un simple ouvrier attentif, conduit plus sûrement, que le plus habile cavalier ne dirige un cheval, dont il n'est jamais assuré d'être le maître. Quand les minerais sont extraits du sol, la métallurgie crée des usines pour les purifier et leur donner les formes utiles à leur emploi. La petite forge, mue par les chutes d'eau, est remplacée par des ateliers qui utilisent des milliers de chevaux-vapeur et des milliers d'hommes; le petit haut fourneau, qui produisait 4 tonnes en vingt-quatre heures, par des appareils qui en produisent 100 et 150; le martinet de quelques 100 *kg*, par des pilons de 10 000 et jusque 100 000 *kg*, par des presses de 4 000 000 de *kg*, et, c'est avec ces nouveaux engins, que tous les pays opèrent la transformation formidable de leur matériel de guerre. Des réseaux infinis de voies ferrées, qui transportent des milliers de voyageurs et des millions de tonnes de produits, remplacent nos chariots et nos messageries; des filatures et des manufactures qui, réunies, forment des villes entières, succèdent au rouet et au métier du foyer domestique. La houille, indispensable à tous ces travaux, voit

tripler sa production et sa consommation dans ces trente dernières années; on la transforme en gaz, on récupère sa chaleur; l'admirable invention de Siemens fait faire à la métallurgie, aux manufactures de glaces, aux verreries, à toutes les industries qui ont besoin de hautes températures, des progrès merveilleux. L'électricité, qu'on entrevoyait à peine au milieu de ce siècle, nous apporte une lumière magique et une force qui n'a d'autres limites que celles de la nature; appliquée à la télégraphie, à la téléphonie, elle nous met en rapport continu, intime, par la conversation même, avec le monde civilisé.

Ces merveilles de notre temps sont vulgarisées dans nos grandes écoles. La science pure, qui était un privilège, est aujourd'hui largement enseignée. Son application à l'industrie est un fait constant. Les écoles industrielles, appuyées sur la science, sont partout; la science sera toujours leur guide le plus respecté, le seul conducteur, solide et sûr, de tous les travaux de l'industrie. Si répandues et si importantes que soient ces grandes écoles dans notre pays, elles ont des émules à l'étranger, et souvent ces émules nous donnent des soucis, non pour la science pure, mais pour l'instruction technique; non pour la formation des Ingénieurs, chefs distingués de nos grandes usines; mais principalement pour la formation de contremaîtres éclairés, d'ouvriers d'élite, qui ont des services signalés à rendre dans le monde du travail.

La science est donc la base réellement puissante de l'industrie moderne. Ses progrès imposent l'ampleur à nos exploitations; cette ampleur, indispensable pour obtenir les produits à bas prix, exige la réunion de gros capitaux; le manufacturier dont nous avons fait le portrait devient impuissant, il tend à disparaître, dans tous les pays industriels il est remplacé par la société anonyme. Il était capitaliste, technicien, négociant; le capitaliste est aujourd'hui l'actionnaire, le technicien est l'Ingénieur, le négociant, l'agent commercial. L'Ingénieur a le rôle actif et prépondérant dans ces sociétés; les études supérieures qui l'ont formé en font souvent le chef respecté de nos plus puissantes compagnies, il est devenu indispensable; on le jugeait presque un fléau il y a cinquante ans, il est aujourd'hui la cheville ouvrière de l'industrie; il a pour chef les conseils d'administration des sociétés anonymes. Ce sont ces conseils qui sont responsables vis-à-vis des actionnaires qui les nomment.

Dans toute cette organisation, la responsabilité vis-à-vis des

tiers, si complète et absolue, quand le manufacturier est le chef de son usine, disparaît presque complètement. L'actif social est seul engagé. La mission supérieure du conseil est de faire valoir le capital qui lui est confié par les actionnaires.

Que devient l'ouvrier dans ces puissantes compagnies? Il n'est plus lié à son chef, comme il l'était dans l'organisation familiale que nous avons rappelée, il ne le connaît plus, il n'a avec l'administration aucun contact, il est isolé, il subit naturellement les conditions qui lui sont faites, il se trouve dans une position trop modeste pour pouvoir défendre ses intérêts, on peut facilement abuser de lui. La fatalité lui a fait une position sans solidité, sans garantie. C'est là un fait indéniable. Si considérable que puisse être la situation des agents supérieurs des compagnies, ils sont des agents, ils ne peuvent avoir l'autorité supérieure, effective et morale, de l'ancien patron.

Ce fait, si pénible qu'il soit, n'a rien qui doive nous surprendre. Des progrès comme ceux que nous venons d'indiquer, des transformations aussi radicales, des organisations, si différentes de celles du passé, devaient modifier profondément le monde du travail et, dans toutes les nations, ce monde n'est plus en équilibre, la paix sociale est en question. L'illustre auteur des ouvriers européens l'a signalé par l'ouvrage le plus puissant de ce siècle, *la Réforme sociale*. Aujourd'hui, cette situation occupe le monde entier, la plus grande autorité morale vient de l'exposer dans une œuvre, qui sera le monument suprême de son règne. Les révolutions politiques, si nombreuses depuis un siècle, les onze constitutions successives dont elles ont gratifié particulièrement notre pays, n'ont pas troublé le monde du travail, comme l'ont fait les conséquences des progrès de la science appliquée à l'industrie.

Si grave que soit ce trouble général, ce serait une faiblesse coupable de désespérer de l'avenir. Le siècle qui a produit ces merveilles sera un grand siècle, et tous ses travaux, après les épreuves de l'enfantement, coopéreront au bonheur de l'humanité tout entière, nous en avons la ferme conviction. Il y a beaucoup à faire sans doute pour atteindre ce but, la bonne volonté générale témoigne du désir d'arriver à des solutions équitables; de tous côtés l'action individuelle, celle des associations diverses, les parlements et les gouvernements font des efforts permanents, la patience et la sagesse sont indispensables, mais le succès final ne saurait être mis en doute.

Voici quelques réflexions relatives aux difficultés qu'il faut résoudre :

L'industrie moderne, à côté d'un minimum d'ouvriers d'élite, arrive, par la division du travail en grands ateliers spéciaux, à l'exagération de la production ; elle absorbe plus de bras, mais développe moins l'intelligence ; l'ouvrier est appliqué à une besogne uniforme, toujours la même ; si cette besogne, par suite de la surproduction liée au moindre prix de revient, tend à lui manquer, il est voué au chômage ; car ses habitudes ne l'ont pas préparé à aborder facilement d'autres travaux. Lorsqu'au moment d'une crise, on vient lui dire que le capital est son ennemi, parce que son travail habituel est diminué ou suspendu, il est disposé à le croire et à se révolter contre le capitaliste, qui est accusé d'imprévoyance et déclaré coupable du mal dont il souffre avec l'ouvrier.

Les lois promulguées en faveur de l'ouvrier ne lui ont pas toujours fait grand bien et souvent lui ont fait beaucoup de mal. Les lois sociales doivent être dans les mœurs avant de figurer dans les codes. La liberté du travail, proclamée en 1791, n'est pas encore une vérité : on en a la preuve par l'histoire de toutes les grèves ; mais, en outre et à tout instant, dans la pratique de la vie industrielle. La liberté des coalitions a donné la liberté des grèves, qu'elle avait la prétention de supprimer. Nous allons les étudier et nous jugerons des bienfaits de cette loi, qui n'a pas su régler les conditions pratiques de son action. La loi des Syndicats, dont l'ouvrier devait tirer profit, n'a donné jusqu'à présent, pour lui, que de médiocres résultats : bien que ce soit une loi de liberté, elle menace l'industrie de devenir tyrannique si, à côté d'elle, les pouvoirs publics ne font pas respecter la liberté du travail, qui est la plus respectable des libertés ; jusqu'à présent, au lieu de pratiquer cette loi pour défendre leurs intérêts, les ouvriers en ont fait souvent, sous la conduite de ceux qui les mènent, une loi d'agitation politique, c'est-à-dire une loi d'agitation néfaste et décevante, un piédestal aux politiciens.

Toutes les lois que nous rappelons ici, très sommairement, sont cependant le fruit de cette observation ; que l'ouvrier est isolé dans l'industrie moderne et qu'il faut le fortifier, à la fois, par la liberté et l'association ; la pensée est excellente, et nous la défendrons à chaque page de cette étude. Nous avons la confiance que peu à peu elle sera comprise et entrera utilement dans les mœurs avec des sentiments de modération et de sage pratique ; mais nous avons

à décrire les abus qu'on en a faits. Nous allons voir les luttes sociales qui se traduisent par les grèves et par les congrès ; il faut connaître ces maux sous toutes leurs formes, leurs conséquences désastreuses et douloureuses ; nous aurons ainsi plus de force pour indiquer les moyens d'y apporter remède ; nous chercherons à nous appuyer à la fois sur des autorités élevées et sur l'expérience.

Avant d'entrer dans l'historique et l'examen de ces luttes, nous pouvons dire qu'il y sera naturellement question des revendications ouvrières ; ces revendications, formulées par des agitateurs violents, sont souvent excessives et font bon marché des libertés publiques qui nous sont chères, que nous entendons défendre ; elles attaquent également les droits acquis et ne dissimulent pas leur but, de les confisquer au profit du collectivisme ; dans ces conditions, les termes, *socialisme et socialiste*, viendront quelquefois sous notre plume, nous tenions à expliquer le sens que nous y attachons. Ces expressions s'appliquent aussi à des mesures générales qui sont pratiquées par certains États et que plusieurs ont tendance à introduire chez nous. Nous jugeons ces mesures aussi décevantes que dangereuses, pour cette raison, qu'elles sacrifient les intérêts généraux au profit d'intérêts particuliers. Ce sont les intérêts généraux que nous voulons défendre. Toutefois, nous ne méconnaissons pas le droit et le devoir de l'État de réprimer les abus et d'écarter les dangers, son action doit rester dans ces limites. Nous ajouterons encore, qu'il convient absolument de distinguer les questions sociales du socialisme, que ce socialisme soit révolutionnaire ou d'État, c'est-à-dire qu'il conduise au collectivisme ou à la tyrannie. Nous nous occupons ici d'une question sociale au premier chef ; d'une question capitale, *la conciliation entre patrons et ouvriers*. La conciliation conséquente d'une parfaite entente sur toutes les conditions du travail, réglements et salaires. Pour obtenir le bienfait, nous ne voulons nous appuyer que sur le régime des droits acquis et des libertés publiques, qui constituent le domaine de tous les citoyens d'un pays libre.

Les grèves existent dans tous les pays industriels, dans le vieux monde comme dans le nouveau : aux États-Unis et en Australie, en Angleterre, en Allemagne, en Autriche, en Espagne, en Italie et en France. Aux États-Unis, ce sont de véritables guerres : en 1877, il a fallu des armées pour les dompter ; en Australie, en 1890, les grévistes sont devenus les chefs du gouvernement.

Les grèves des États-Unis démontrent, au plus haut degré, l'irritation profonde des masses ouvrières contre l'aristocratie de la richesse.

C'est un pays où l'éclat du luxe n'a pas de bornes ; on n'y sent pas que cet éclat est profondément outrageant, pour l'homme qui n'arrive à gagner sa vie et celle de sa famille, que par un rude et incessant labeur. Cette observation ne s'applique pas seulement aux États-Unis : elle nous vient sous la plume, au moment où nous allons faire des grèves une revue rapide, parce que l'envie est cousine germaine de la haine et que ces deux sentiments ne sont pas étrangers aux grèves. Ils sont de tous les pays et, dans aucun, on ne devrait oublier que la fortune impose des devoirs sacrés. Le premier est de respecter les humbles. Les parvenus n'ont pas souvent cette vertu ; en Amérique il s'en produit beaucoup, et c'est dans ce pays que le travail n'a souvent d'autres égards que ceux qu'on accorde généralement à une marchandise. A l'époque dont nous parlons, l'application désordonnée du système protecteur et l'immoralité financière, qui ont suivi la guerre de sécession, avaient ruiné, déshonoré le parti vainqueur et, réduit au chômage, à la misère, un million d'hommes. La grève de 1877 s'organisa au milieu de la terreur. La liberté du travail fut non seulement méconnue, mais ceux qui dirigeaient la grève portaient partout la ruine par les incendies et la destruction. L'assassinat des ouvriers qui voulaient continuer le travail était un principe. Les autorités étaient partout méconnues. Les grévistes formaient une armée sauvage, qui mit en question l'existence des États-Unis. Il fallut toute l'énergie du président Hayes et de ses ministres, toutes les forces du pays, réunies sous les ordres du général Sheridan, pour écraser ces barbares et ces malheureux.

Depuis, les grèves sont incessantes et souvent formidables ; elles ont progressé constamment. Déjà, elles étaient nombreuses en 1880 ; on en compte 443 en 1884 ; 645 en 1885 ; 1 411 en 1886. Carrol Wright établit que, de 1881 à 1886, elles ont coûté plus de 400 millions de francs, dont trois huitièmes aux chefs d'industrie et cinq huitièmes aux ouvriers. Il y a, depuis, une certaine accalmie, mais on compte encore 872 grèves en 1887 et 679 en 1888. La grande armée des Chevaliers du Travail, dont M. Brelay vient d'écrire l'histoire et l'état actuel (1), ne paraît pas avoir été sans action sur les grèves de ces dernières années. C'est par centaines de mille que se comptent ses membres. Ces associations sont des

(1) Voir la *Revue des Institutions de prévoyance*, 1890 et 1891.

armées. Aux États-Unis, les chefs d'industrie ne s'occupent pas de leurs devoirs moraux ; tout est fini pour eux quand ils ont payé le salaire convenu ; ils oublient que l'homme est comme eux, un homme. L'ouvrier se révolte et cherche son refuge dans la pratique du socialisme, qui ne saurait, hélas ! qu'empirer son état.

L'Australie nous donne un autre exemple. On sait que dans ce pays, où l'industrie fait ses premiers pas, le socialisme d'État est le principe du gouvernement. On y fixe les heures de travail, les heures d'ouverture et de fermeture des magasins ; les taxes fiscales frappent principalement la grande propriété ; les droits des successions sont progressifs ; les voies de communication sont aux mains de l'État. Dans cette situation, on est bien près de fixer le salaire, et des Sociétés sont organisées en vue d'obtenir ce bienfait, destiné, paraît-il, à assurer le bonheur parfait. Ces Sociétés, réellement puissantes, on va le voir, se recrutent, non pas dans les masses qu'elles veulent diriger, mais dans une certaine élite d'ouvriers et dans le personnel de la marine marchande. Elles ont pour objectif la domination du pays, elles ont des ramifications dans toutes les cités industrielles. Sur un ordre de l'office central de ces Sociétés, les grèves éclatèrent en 1890 avec un parfait ensemble, les travaux furent partout arrêtés, le gouvernement fut impuissant et les grévistes prirent sa place. Ils fixèrent le salaire et la durée maximum de la journée de travail fut réglée à huit heures ; ils imposèrent ces conditions aux armateurs et au personnel de la marine marchande et régnèrent en maîtres pendant six mois. Leur autorité s'était, partout, substituée à celle des pouvoirs publics. Heureusement, les masses ouvrières étaient en dehors de ces Sociétés, dont la tyrannie les révolta ; elles réclamèrent la liberté du travail, ce qui restait d'autorité put, avec leur appui, user de la force publique pour la défense de la liberté. Toutes les classes de la société, un moment dominées par la secte absolue des socialistes, appuyèrent le gouvernement, et après six mois de désordre, cette singulière aventure sombra dans le ridicule.

Il faut un bouleversement social, dont fort heureusement jusqu'ici, nous n'avons pas d'exemple en Europe, pour expliquer des faits aussi désordonnés, mais il ne faut pas trop s'en étonner, les transformations qui se produisent, dans ces pays neufs ont des résultats excessifs sur les fortunes, sur les misères. On y est égoïste, l'argent est la seule divinité, la guerre sociale est un résultat naturel de cet état moral.

Après ce coup d'œil sur ce qui se passe dans le Nouveau-Monde, nous allons rentrer en Europe, nous y constaterons également des faits bien graves et bien douloureux, qui compromettent à la fois la richesse du pays et la paix publique.

L'Allemagne est, en Europe, le foyer le plus ardent du socialisme sous toutes ses formes; les grèves se sont déclarées dans ce pays au lendemain de la loi de 1869, qui les autorisait; des associations de métier se sont constituées pour les fomenter et les soutenir; de 1869 à 1880, on a compté en Allemagne 204 grèves. Elles ont toujours été progressant, et les lois d'assurances contre les maladies, les accidents et la vieillesse n'ont eu d'autre but que de dompter le socialisme révolutionnaire par la pratique du socialisme d'État, *c'est un résultat opposé qui fut atteint.*

« Les socialistes voteront les lois, a dit Liebknecht; ce n'est pas » eux qui sont allés au chancelier, c'est le chancelier qui est venu » à eux, et quand il aura, de sa main puissante, fait entrer la » nouvelle loi, comme la pointe d'un coin, dans l'organisation » sociale moderne, il faut espérer que le gros bout fera éclater » le reste. »

Cette prédiction menace de se réaliser, au moins le nombre des socialistes allemands s'augmente chaque jour; à la dernière législature, ce nombre s'est élevé à 1 500 000 et celui des députés a passé de 7 à 33.

La grève de 1889, d'un caractère général, a duré un mois; elle s'est déclarée spontanément, sans avis, les paroles de l'empereur l'ont plutôt encouragée que blâmée, elle a mis 200 000 ouvriers mineurs en chômage, ils ont obtenu satisfaction. Les grèves sont fréquentes dans ce pays, elles sont calmes; mais ce qui se passe dans les congrès, nous le verrons bientôt, démontre que les vues des meneurs sont absolument socialistes; dans tous les cas, les grévistes exigent la solidarité complète des ouvriers et méconnaissent absolument la liberté du travail. L'état des esprits est toujours très excité. Aujourd'hui, le gouvernement, d'accord avec les industriels, résiste aux revendications ouvrières, les industriels se constituent en syndicats pour s'y opposer, c'est une mesure grave et délicate, ce n'est pas la constitution de deux camps armés en guerre qui fera la paix. De nouvelles grèves assez sérieuses viennent de se produire, les meneurs ont vu qu'elles n'avaient pas chance d'aboutir; le calme de la rue, que le gou-

vernement a pu rétablir, n'est pas le calme des esprits. Les Allemands sont disposés à recommencer dès qu'ils seront prêts.

On sait que l'Angleterre est la terre classique des grèves. Les ouvriers anglais ont cette liberté depuis 1824; les grèves, chez eux ont été souvent violentes et criminelles, elles n'ont jamais respecté la liberté du travail, mais elles se sont toujours cantonnées dans la limite des intérêts, la politique en a été sévèrement écartée; enfin, les Trades Unions, organisées pour les fomenter et les soutenir, sont aujourd'hui des institutions qui, souvent, cherchent la conciliation et réservent leur fortune pour soulager les malades, les blessés, et venir au secours des malheureux. Quoi qu'il en soit, les grèves existent toujours en Angleterre; elles ont été en 1888 l'objet d'une enquête générale dirigée par le Ministre du Commerce: l'enquête a constaté 509 grèves; 357 de ces grèves se sont réglées par les conseils de conciliation, 12 par l'arbitrage, 140 ont été sans résultat. Elles ont privé les ouvriers de 12 à 15 millions de salaires.

De certains côtés, les Anglais, eux aussi, réclament l'intervention de l'État pour fixer à huit heures la journée des adultes; le socialisme d'État pénètre aujourd'hui partout, le Ministre a répondu à cette réclamation qu'*il ne saurait intervenir pour empêcher des hommes faits de disposer et d'user de leurs forces*. C'est une parole vraie et virile.

Deux grèves récentes, celle des hauts fourneaux et celle des chemins de fer, toutes deux en Écosse, grèves qui ont eu une durée de six mois pour les hauts fourneaux, de plus de quarante jours pour les chemins de fer, ont donné l'une et l'autre des résultats négatifs; la solution de la grève a surtout été dure pour les métallurgistes, qui ont dû reprendre le travail avec une réduction notable de salaire; c'est là un rude échec pour les ouvriers et pour les associations qui ont soutenu ces grèves. Elles n'étaient pas justifiées, la fermeté des Compagnies et des industriels, et l'opinion publique ont fait justice des prétentions exagérées des grévistes.

Depuis 1886, les grèves de Belgique sont marquées par de grandes violences, elles sont conduites par des meneurs d'un caractère particulier, la politique joue un rôle principal dans ces grèves; en ce moment, une grève générale des mineurs a pour but principal, avoué, l'obtention du suffrage universel; en 1886, la grève des verriers, dont le caractère a été sauvage, a eu

pour prétexte la mise en activité de nouveaux fours à bains ; ç'a été un vrai cyclone gréviste : les usines et les habitations des chefs d'industrie ont été incendiées ; des agitateurs avaient réussi à faire croire aux ouvriers que leurs positions étaient compromises par les inventions. Les ouvriers gagnaient de 400 *f* à 1 000 *f* et même plus par mois ! L'ouvrier n'a pu formuler aucune plainte ; on s'était excité, on quittait le travail, on brûlait tout et malheur à qui travaillerait ! et, à côté de ces ouvriers, privilégiés par des salaires très élevés, on voyait alors des mineurs gagnant 15 à 18 *f* par semaine. Voilà des chiffres bien insuffisants, et que dire, quand, avec ces salaires, la moitié des charbonnages de Belgique sont en perte ; de 1876 à 1884, le bénéfice total des charbonnages de ce pays s'élève à 19 404 000 ; c'est, par an, 2 400 000, chiffre qui représente l'intérêt annuel de plus de 500 millions de capital. Cette somme donnerait 24 *f* par an à chacun des 100 000 ouvriers occupés dans les mines. Voilà les misères de l'industrie !... Vers la fin de 1888, les besoins de houille amenèrent un relèvement des prix de vente, les ouvriers réclamèrent une augmentation, les exploitants n'y purent satisfaire. La population ouvrière, travaillée par des meneurs, par des journaux violents, se mit en grève ; elle fut longue, agitée et tenace. L'intervention salutaire de MM. Sabatier et Smeysters eut la bonne fortune d'arrêter cette grève.

Il faut dire un mot de ce qui s'est passé à cette époque aux charbonnages de Mariemont et de Bascoup, où fonctionnaient, depuis 1875, des chambres d'explication, formées de délégués des patrons et d'ouvriers nommés par leurs pairs. C'était là un obstacle que les meneurs avaient à cœur de renverser ; le parti socialiste, plus connu sous son nom véritable de parti anarchiste, mit tout en œuvre pour atteindre ce but, il n'y put réussir. M. J. Weiler, Ingénieur de la Compagnie de Mariemont, a fait un historique très intéressant de ce fait dans le *Journal des Économistes* de mai 1889. Nous reviendrons sur cette institution. Déjà, à cette époque, les meneurs des ouvriers belges voulaient la grève générale ; les ouvriers éclairés jugeaient son plan irréalisable. Aujourd'hui, au moment où j'écris ces lignes, la grève générale des ouvriers mineurs existe en Belgique et quelle qu'en soit l'issue, c'est là un fait d'une gravité capitale, dont l'exemple peut avoir les plus graves conséquences. Dans tous les cas, c'est un parti politique qui conduit la grève de mai 1891, il ne peut changer la situation économique de la Belgique. L'ouvrier se laisse conduire par ses pires ennemis, l'ouvrier croit tout ce que les meneurs, spécia-

listes des grèves, veulent lui faire croire. Mille fois trompés, mille fois ils donnent leur confiance à ceux qui, chaque jour de leur vie, manquent à leur parole. Mais leur parole est si passionnée, si violente, si outrageante pour les industriels ! Nous admettons sans réserve que les ouvriers défendent leurs intérêts, nous les blâmerons toujours quand ils mêleront à ces intérêts des agissements politiques. Nous voulons croire que la duplicité des meneurs et les résultats négatifs de leurs vaines promesses éclaireront un jour leurs victimes.

Nous ne dirons rien de l'Autriche, de l'Espagne, de l'Italie. Ces pays ne sont pas exempts de certains troubles et, dans ces derniers temps, ils se sont manifestés, surtout en Espagne. L'expérience des autres ne sert pas plus aux peuples, que l'expérience des hommes ne sert aux enfants. — Nous passons à la France.

Ici, au moins, nous avons une statistique assez complète : M. Turquam vient de publier dans le *Génie civil* (1) un travail considérable, qui comprend l'ensemble des grèves pour la période de 1852 à 1889. Si nous voulons remonter dans le passé, M. Cl. Jannet nous apprend que les premières grèves en France remontent au XIV^e^ siècle, après la terrible peste de 1348 ; et, au XVI^e^ siècle, elles ont pris, dans notre pays, le caractère de véritables coalitions. De même au XVII^e^, on peut signaler celle des maraîchers de Paris, et en 1744 la grève des ouvriers en soieries de Lyon.

M. Turquam relève 17 grèves de 1852 à 1857 ; 50, de 1858 à 1860 ; 83, de 1861 à 1864 ; 196, de 1865 à 1875 ; 248, de 1876 à 1880 ; 918, de 1882 à 1888. La progression est rapide, de trois par année ; à dater de 1852, nous arrivons à 321 en 1889, et ce chiffre sera dépassé en 1890. Le Nord de la France est la contrée la plus éprouvée par les grèves.

Nous ne pouvons examiner ici les observations diverses, que M. Turquam tire de son patient travail, relativement aux contrées frappées par les grèves, à leurs motifs, à leur durée, aux divers genres d'industries éprouvées, à leurs résultats favorables ou défavorables. A ce sujet, cependant, nous signalerons que sur 1 804 grèves, M. Turquam en relève 372 favorables aux ouvriers, 345 qui ont donné lieu à des transactions, 1 038 qui ont échoué et 49 dont les résultats sont inconnus. Il signale encore que, pendant les vingt dernières années, le salaire

(1) Voir les n^os^ 21 et 22 des 21 et 28 mars 1891 du *Génie civil*.

perdu par les ouvriers s'est élevé à 20 millions de journées par an. En moyenne, 1 million de journées. Si l'on admet 3,50 *f* pour la journée, c'est 3 500 000 *f* de salaire perdu. D'après certains résultats qui nous sont connus, on peut en induire que la perte des industriels a été au moins moitié de ce chiffre.

Les issues défavorables sont en moyenne de 55 à 60 0/0; les grèves qui donnent des résultats favorables vont toujours en décroissant. Voici quelques chiffres : 35 0/0 en 1882, 31 0/0 en 1883, 30 0/0 en 1884, 19 0/0 en 1885; 17 0/0 en 1886; 16 0/0 en 1887.

M. Turquam, au point de vue statistique, nous donne tout ce que cette science peut nous donner; mais, au point de vue social, nous ne trouvons que des chiffres. La statistique n'est pas la monographie qui fouille les menus détails, qui relève, à côté des chiffres, les faits qui les déterminent.

Nous avons étudié quelques grèves, depuis la loi de 1864, celles qui ont le plus marqué, et, notamment, les grèves de la Ricamarie, d'Aubin, du Creusot, rapprochées de la promulgation de la loi; celles d'Anzin, de Vierzon, de Decazeville en 1886. Nous avons étudié la grève du Nord et du Pas-de-Calais de 1889. Nous y avons toujours constaté deux faits caractéristiques: le premier est l'action du politicien; le second est la violation de la liberté du travail.

Le politicien attaque les chefs de l'industrie, le capital; il appuie les revendications les plus insensées. Il fait miroiter aux yeux de l'ouvrier le bonheur dont il jouira quand il aura spolié la société, quand il aura conquis la collectivité.

L'ouvrier travaille, l'ouvrier est courageux, il est honnête; sa vie est rude; son avenir, fort sombre; il est naïf, peu instruit. Ses meneurs ont facilement une action sur lui, surtout quand, pour ces questions, il est livré à lui-même.

Quant à la liberté du travail — cette liberté si précieuse — elle est toujours méconnue : qu'on étudie les grèves aux États-Unis, en Australie, on y constate l'action tyrannique des grévistes contre les ouvriers qui veulent travailler. On a vu cette action tyrannique dominer toute la classe ouvrière de l'Angleterre pendant plus d'un demi-siècle et encore aujourd'hui. Le despotisme des violents est une caractéristique générale en Allemagne, en Belgique, partout et, chez nous, elle a été tout particulièrement

marquée dans les grèves que nous avons étudiées (1), et on peut dire qu'il n'existe pas une grève dans laquelle on ne méconnaisse ce droit garanti par les lois; des jugements nombreux en donnent le témoignage.

Les politiciens, les meneurs, ne sont pas toujours de la nationalité des ouvriers vis-à-vis lesquels ils agissent. Souvent ces hommes dangereux sont des étrangers. On l'a constaté dans plusieurs grèves. Les ouvriers devraient, avant tout, écarter les étrangers. Loin de le faire, ils les écoutent naïvement, acceptent et suivent leurs avis. Notre gouvernement ne prend pas souvent le parti naturel et légal de les conduire courtoisement à la frontière.

On peut dire que le meneur domine l'ouvrier, l'exalte; il forme un noyau de mécontents et ce noyau formé terrorise les masses.

Parmi ses procédés il en est un très habile : il consiste pour le politicien à agir sur les jeunes ouvriers de seize à vingt ans. Il leur parle de l'exploitation de l'infâme capital, du sort misérable de leurs familles, de l'organisation vicieuse de la société; que cet état doit changer, qu'il appartient à la jeune génération d'opérer ce changement, qu'il faut s'y dévouer, que le sort de la classe ouvrière est dans leurs mains. Il éveille chez ces jeunes gens les sentiments les plus généreux, il les exalte, et quand il est arrivé à les fasciner, il les réunit mystérieusement la nuit, et les serments les plus terribles engagent ces enfants à l'exécution d'un ordre, quel qu'il soit. Ils se croient les sauveurs des déshérités de la société tout entière, et en effet, sur un mot d'ordre, ces jeunes gens abandonnent l'usine et, comme ils jouent un rôle dans chacun des services, aucun ne pouvant fonctionner sans eux, la grève se trouve effective. On voit les pères suivre leurs enfants. Les ouvriers sont souvent des enfants.

Sans doute les ouvriers doivent défendre leurs intérêts, c'est leur droit; mais, nous ne pouvons trop le répéter: que dans les questions des grèves, ils se bornent à la défense de ces intérêts, à ce qui touche au salaire et aux règlements du travail; que ces intérêts soient débattus loyalement. Qu'on en écarte toute politique, toute pensée révolutionnaire. C'est une affaire, et rien autre. Avant de déclarer une grève, qu'on en connaisse, des deux côtés, les vrais motifs, et qu'on cherche à s'entendre, avant de rompre tout rapport.

(1) *La Liberté du travail et les Grèves.* — A. Gibon, Guillaume et Cie, Paris.

Pour agir suivant ces vues, il faut le désir réciproque de l'harmonie ; malheureusement, les mauvais sentiments prennent souvent la direction de la volonté ; l'envie, la haine sont les maitres de la maison et l'antagonisme devient l'état normal. C'est là le mal qui constitue la gravité de la question sociale ; ce mal funeste qui est au fond des cœurs et qu'il est si difficile de guérir ; nous allons voir à quel point ce mal existe et surtout comment il est exploité par les pires ennemis de la classe laborieuse dans les congrès ouvriers (1).

Nous avons jeté un coup d'œil sur les grèves, il faut absolument voir rapidement ce qui se passe depuis plusieurs années dans les congrès ouvriers. Nous ne voulons pas en tracer l'historique, mais nous voudrions en faire connaître l'esprit et les tendances (2).

Nous citerons en première ligne le Congrès international de Paris en 1889, l'année même de l'Exposition universelle, la date du Centenaire de la Révolution française. Ce Congrès peut s'appeler le Congrès de toutes les écoles et de tous les pays ; son but est l'expropriation politique et économique des capitalistes, l'union des prolétaires du monde entier. Il a été le rendez-vous des plus célèbres révolutionnaires, et vraiment international ; le premier, il a décidé que le 1er mai serait la date qui marquerait à l'avenir l'internationalité de l'action des travailleurs de toutes les nations. « L'avenir est aux ouvriers, il est à la démocratie socialiste ! » s'est écrié Liebknecht, président, dans le banquet de clôture du Congrès.

Quelques mois après, on sortait à peine du congrès de Berlin, qu'une réunion cosmopolite d'agitateurs de nations diverses, d'Amérique et d'Europe, adressait en ces termes un nouvel appel aux travailleurs de France, pour les entraîner à la manifestation du 1er mai 1890 (3) :

« Ce jour-là, disaient-ils, se dressera devant les plus indiffé-

(1) On ne saurait trop étudier, sur ces questions des grèves et sur les revendications des meneurs des ouvriers, le beau livre de M. Cl. Jannet, *le Socialisme d'État et la Réforme sociale*, principalement le chapitre premier : « l'Etat et le régime du travail ». Librairie Plon, Paris.

(2) La généralité des faits que nous allons citer sont extraits des circulaires publiées par le Comité des houillères de France.

(3) *L'Internationalisme dans les questions sociales*, par E. Cheysson. Congrès de la Société d'Economie sociale. Mai 1891.

» rents la question sociale tout entière. En présence de cette sur-
» production de richesses, qui se traduit, pour la classe produc-
» tive, par une misère sans précédent, tous réfléchiront et se
» demanderont le pourquoi d'un pareil état de choses. »

Les mineurs allemands ont tenu, à Halle, un congrès important, du 15 au 19 septembre 1890. 40 délégués de tous les bassins houillers y représentaient plus de 200 000 ouvriers. Ce congrès a décidé la formation d'une union générale des mineurs allemands. Voici les termes d'une pétition qu'ils adressèrent aussitôt aux différents pouvoirs de leur pays :

« Les mineurs allemands, soumis à une oppression sans bornes
» par les capitalistes entrepreneurs de mines et par les agents de
» l'administration minière royale, se voient contraints de se re-
» fuser à cet esclavage absolu, au point de vue social ; car ils ne
» veulent pas perdre tout droit civil et ils veulent assurer une
» situation digne de l'humanité à eux et à leurs enfants. »

Puis, après ce préambule, ils demandent le poste de huit heures, le salaire minimum de 5 *f*, la suppression du marchandage, le paiement hebdomadaire, l'organisation des tribunaux arbitraux dont, seuls, ils nommeront les juges, limitation du droit de renvoi, sans restriction du droit de sortie des ouvriers mineurs, interdiction des syndicats des exploitants ; ils ajoutent que, n'ayant obtenu aucune amélioration à leur situation par l'empereur, ils agissent directement eux-mêmes.

Une réunion de ces mineurs à Bochum, du 15 février dernier, a pris les résolutions suivantes :

1° Durée du poste de huit heures, y compris l'entrée et la sortie ;
2° Défense de faire des postes supplémentaires ;
3° Institutions d'arbitres et délégués mineurs ;
4° Suppression des annulations de wagons ;
5° Élévation des salaires proportionnellement à la hausse des prix de vente ;
6° Réembauchage des mineurs remerciés pour réclamations au sujet du travail ;
7° Maintien des caisses minières.

Ces congrès sont loin d'être une cause d'apaisement, — aux congrès des ouvriers vont répondre des congrès de patrons. Déjà une association pour la défense des intérêts miniers est constituée par les exploitants.

Ils répondent à ces résolutions des ouvriers par un refus absolu, sauf au sujet de l'article 7 qui n'est pas en cause.

Le *Moniteur de l'Empire* repousse ces mêmes résolutions.

Le fait est que, depuis la grève du printemps de 1889, les salaires des ouvriers mineurs ont été augmentés d'au moins 30 0/0.

En Belgique, les mineurs fondent une fédération nationale au 25 décembre 1889. — Ici, les tendances ont un nouveau caractère. Nous allons l'indiquer par le texte de quelques articles des statuts de cette fédération :

Art. 2. — La fédération a pour mission de réclamer en toute occasion le suffrage universel.

Art. 3. — Elle correspond avec les sociétés étrangères.

Art. 6. — En cas de grève, la fédération s'oppose à l'exécution des marchés des charbonnages en grève, par des charbonnages en dehors de la grève.

Art. 29. — La fédération a pour but l'émancipation politique et économique de la classe populaire.

Ces articles exposent les tendances nouvelles.

Voici les résolutions du premier congrès de la fédération tenu à Jolimont en mai 1890; il a affirmé :

1° Que la journée de travail ne devait pas dépasser huit heures;

2° Que les unions, de tous les pays, devaient étudier la solution de cette question par une grève internationale ;

3° Qu'une constitution d'une fédération nationale devait être constituée.

On a dû aux ouvriers anglais, d'écarter l'intervention de l'État pour la réglementation du travail.

Un nouveau congrès belge s'est réuni à la Louvière le 14 décembre 1890. M. Gustave Desnet a présenté un rapport au nom du comité exécutif de la fédération. Ce rapport se termine ainsi :

« Les hommes qui siègent au parlement ne sont pas les repré-
» sentants de la nation ; ils sont les mandataires d'une oligarchie
» financière, qui dicte la loi aux classes ouvrières; trop long-
» temps nous avons baissé la tête, nous la relevons aujourd'hui et
» nous voulons trouver, *avec la force qui donne le droit*, les moyens
» d'obtenir satisfaction.

» Si justice ne nous est pas rendue, bientôt sonnera le ralliement de tous les exploités et la marche en avant du suffrage universel, pour le triomphe de la grève générale. »

Le suffrage universel et, pour l'obtenir, la grève générale : telles sont les déclarations de la fédération.

En France, un congrès des mineurs, tenu à Saint-Etienne en avril 1890, demande la fixation de la journée de travail à huit heures, par mesure législative.

La fédération du Nord remet au Préfet un manifeste important, absolument socialiste ; c'est l'État qui doit réglementer le travail et fixer la journée à huit heures.

Le congrès national réuni à Commentry, en mars 1891, veut la journée de huit heures, y compris la descente et la montée, avec une heure pour les repas, la suppression de la tâche ; il demande une retraite minimum de 1 095 *f* par an et les caisses de secours à la charge de l'industrie ; enfin 30 0/0 d'augmentation de salaire ; il veut le retrait des concessions, etc., etc.

Toutes ces prétentions ne sont pas de nature à nous donner la paix ; elles paraissent avoir pour conséquence la formation de syndicats de patrons, tels que déjà ils existent en Allemagne et en Belgique. On comprend que les chefs d'industrie songent à se défendre, mais cette arme nous paraît dangereuse.

Nous ne pensons pas que les revendications formulées dans le congrès répondent à un mouvement général et profond des ouvriers français.

Nous arrivons au Congrès international, qui s'est tenu à Paris le 1er avril 1891.

Ce Congrès n'a pas atteint le but cherché par ses promoteurs ; son objectif principal, annoncé dans les divers congrès nationaux qui l'ont précédé, était la grève générale des houillères de l'Europe ; elle a été repoussée à une très grande majorité et absolument par les huit neuvièmes des mineurs représentés et formant, pour ainsi dire, l'unanimité des délégués anglais, allemands et français. M. Basly, lui-même, a déclaré que l'on n'était pas prêt et qu'on ne le serait pas de longtemps ; les esprits exaltés applaudissent toujours les motions les plus violentes et n'acceptent aucune parole de bon sens, M. Basly a été fort mal accueilli ; quoi qu'il en soit, la grève générale a été repoussée. Les Belges seuls ont voté la grève, au point de vue politique, dans le but exprimé, de presser sur les pouvoirs publics pour obtenir le suffrage universel ; on leur avait promis des secours et aussi, une opposition résolue à l'expédition des charbons étrangers, en vue de favoriser leur action ; on sait que ces promesses ont été vaines. L'agitation a été sensible en

Belgique, mais très irrégulière et sans violence; en fait, on ne s'est pas entendu et les chefs de ce mouvement n'ont pas à se féliciter des résultats, ils ont perdu beaucoup de leur autorité sur les ouvriers.

Le Congrès de Paris avait dû employer de longues séances pour régler la question du vote, et le vote par nation, qui l'a emporté sur le vote personnel, n'a pas prouvé la force de l'internationalité, chacun a voulu rester de son pays.

L'attitude du Conseil municipal de Paris vis-à-vis les congressistes, dans cette circonstance grave, a été trop remarquée pour que nous affections de l'ignorer; mais, nous n'avons pas à la discuter, notre mission est toute autre; nous cherchons la paix des ateliers, on ne saurait l'obtenir que par l'union, nous allons voir dans la deuxième partie de cette étude par quels moyens nous voulons espérer d'y parvenir.

DEUXIÈME PARTIE

Conciliation et Arbitrage.

Il nous paraît que nous venons d'établir un dossier, non complet, mais suffisant, des pièces du procès qui trouble le monde du travail; nous avons montré ce que sont, dans des cas généraux et dans certains cas particuliers, les luttes sociales. Nous pouvons en conclure que souvent, après un travail latent, elles se manifestent spontanément. C'est une mine qui fait explosion.

C'est là un grand malheur, car la guerre est un préjudice pour tous les intérêts. D'abord, c'est la suspension du travail, c'est-à-dire la suppression du salaire, dont la durée est incertaine; elle frappe l'ouvrier dans ses besoins les plus absolus, dans ceux de sa famille, menacée de la misère; c'est pour les chefs d'industrie, patrons ou Compagnies, l'impossibilité de remplir leurs engagements; pour leur clientèle, laborieusement conquise, la nécessité, l'obligation de s'adresser à d'autres fabricants, dans d'autres centres, quelquefois même à l'étranger; ce peut être plus

grave, les grèves peuvent causer la ruine des Compagnies qui en sont frappées et, par contre-coup, celle du personnel de ces Compagnies; elles sont toujours une diminution de richesse pour le pays, elles sont un malheur public et souvent, ce malheur est la conséquence d'un malentendu; on ne se parle pas, on forme deux camps; dans des conciliabules privés, on s'accuse, on s'échauffe, on s'exalte, on se cabre, on refuse toute explication; on formule des plaintes et des réclamations souvent excessives; l'industrie n'y peut faire droit sans compromettre son existence; la rupture prend alors un caractère plus vif, le chômage persiste, la passion accentue la résistance, les besoins se font sentir, ils deviennent impérieux, et l'ouvrier, qui s'est engagé dans la lutte, sans en mesurer les conséquences, est contraint de se soumettre et reprend le travail, concentrant en lui-même les plus mauvais sentiments contre ses chefs et contre la société.

Ce tableau sincère ne nous montre-t-il pas la voie que nous devons suivre, pour prévenir ces événements funestes? L'ouvrier peut avoir des griefs: ne doit-il pas, avant tout, les faire connaître, les exposer et les discuter librement, paisiblement, dans son intérêt sans doute, mais aussi dans l'intérêt général? Est-ce trop de dire que la loi devrait prescrire cette obligation? elle le fait dans la vie civile. Pourquoi ne l'a-t-elle pas imposée à la famille industrielle?

Nous allons voir ce que sont actuellement les institutions de conciliation et d'arbitrage; nous devons toutefois déclarer que notre intention n'est pas d'étudier ces questions au point de vue juridique. De même que nous avons cherché à tracer, par l'exposé des faits, la situation actuelle du patron et de l'ouvrier dans l'industrie moderne, de même aussi, que nous avons relevé les actes nombreux de luttes sociales dans les divers pays, qui se traduisent par les grèves et se manifestent dans les congrès, nous allons chercher, ici, les us et coutumes, les mœurs, les faits. Depuis de longues années, nos idées sont acquises aux mesures préventives; pour la conciliation et l'arbitrage, comme dans la question des accidents du travail, où les ingénieurs les pratiquent chaque jour; ces mesures s'imposent et nous les défendrons, en cherchant à démontrer que déjà elles pénètrent tous les esprits réfléchis. Nous laissons donc à d'autres le soin d'étudier le côté juridique de la question, nous pourrons être obligés quelquefois d'y avoir recours, mais nous ne nous y arrêterons pas; c'est le côté social qui nous

touche le plus, quand les mœurs auront résolu la question, les lois se trouveront toutes faites et seront d'une application facile.

C'est en Angleterre que nous trouverons l'origine des conseils de conciliation et d'arbitrage; mais avant d'en parler, nous dirons quelques mots de l'état de la question dans d'autres pays.

Commençons par l'Amérique.

Nous avons vu la violence des grèves aux États-Unis, nous jugeons très légitime que les ouvriers défendent leurs intérêts et, à ce point de vue, nous sommes partisans de la loi de 1864, qui porte le nom malheureux de loi de coalitions; mais nous trouvons que cette légitimité disparaît, quand la liberté du travail est méconnue, quand la grève menace la vie sociale, quand un gouvernement est obligé de reconnaître qu'il faut une armée de 50 000 hommes pour assurer, par la force, la tranquillité de la rue. Ces conséquences se sont produites dans les grèves des chemins de fer en Amérique.

Il faut sans doute obtenir le calme de la rue, mais il faut plus; M. Ch. Adams, membre de la Commission des chemins de fer des États-Unis (1) le déclare hautement et trouve dans les institutions nationales, pratiquées par nos grandes Compagnies, les moyens les meilleurs, pour éviter les bouleversements terribles que nous avons décrits. Le personnel de nos Compagnies jouit de la plus complète sécurité, ses droits sont respectés, son avancement dépend de sa valeur et de la manière dont il remplit ses devoirs. Déjà, en 1867, M. Jacqmin, directeur de la Compagnie de l'Est, l'a démontré dans son beau travail sur l'exploitation des chemins de fer; on peut dire que toutes les Compagnies des chemins de fer français rivalisent de zèle pour assurer l'avenir de leur personnel et le repos des vieux jours, par l'extension de pensions de retraites, garanties par des réserves contrôlées par les actuaires. M. Ch. Adams engage son pays à appliquer ces institutions; les grèves de 1886 ne nous ont pas démontré que les États-Unis avaient suivi ses conseils. Chez nous, depuis 1867, les progrès de nos institutions patronales privées se sont développées. La Compagnie de l'Ouest donne les exemples les plus touchants de sa sollicitude pour son personnel, par son asile, ses classes, son ouvroir, par sa Société de secours, par le règlement de sa caisse de retraites; M. Noblemaire, directeur de la Compagnie de Lyon,

(1) *Annuaire de l'Économie sociale*, 1877-1878, pages 52 et suivantes. La grève des chemins de fer en Amérique, A. Delaire.

président du Congrès de la Société d'Économie sociale en 1890, a décrit l'état actuel des institutions de la Compagnie qu'il dirige; ces institutions existent dans toutes les Compagnies (1). C'est un exemple admirable que la France donne à toutes les nations; elle est, sans conteste, à la tête de tout ce qui se fait de bien dans les chemins de fer du monde entier.

Il est difficile de compter sur le succès des efforts de M. Ch. Adams et, par conséquent, d'espérer l'application en Amérique des institutions patronales de notre pays. L'ouvrier américain n'est pas plus disposé à accepter les bienfaits du patronage, que l'industriel à en supporter les charges et les soucis. Ces deux forces de l'industrie, dont l'union est capitale, sont en lutte permanente, dans ce pays puissant et riche et on peut le dire, en lutte voulue; l'industriel traite ses ouvriers avec la plus grande dureté, il l'exploite à la fois sur le produit de son travail, par des retenues et des amendes excessives, et sur le coût de la vie, en lui imposant des aliments, à des prix exagérés en paiement de son salaire (2). De son côté, quand il le peut, l'ouvrier impose ses volontés avec violence aux chefs d'industrie. C'est là l'état général. Cependant, on a tenté divers modes d'apaisement en Amérique (3).

L'un d'eux présente un grand intérêt: c'est le règlement du salaire, suivant une échelle mobile en rapport avec le cours du produit; un minimum est déterminé, en dessous duquel, quel que soit ce cours, le salaire reste fixe. C'est là un système qui nous paraît très pratique, pour les matières premières et surtout pour la houille; il est moins acceptable pour les produits compliqués, dont les prix de revient sont liés à ceux des matières premières et dont, par conséquent, les prix de vente n'ont plus de rapport avec les bénéfices. Ce système est appliqué aux exploitations d'anthracite de la Pensylvanie. On ne peut pas dire qu'il résolve les difficultés; il remonte à 1870; à cette époque on fit des efforts pour arriver à l'arbitrage, on dut reconnaître son impuissance. Des tentatives analogues eurent les mêmes résultats dix ans plus tard à Pittsburg et dans l'Ohio. La conciliation et l'arbitrage ne peuvent donner de bons résultats sans le respect de l'opinion publique, sans l'honnêteté des parties et sans la dignité des conseils : ces trois conditions ne se réalisent pas facilement en Amérique. On comprend qu'il est utile de s'entendre, on fait des

(1) Voir la *Réforme sociale*, n° 108, 16 juin 1890.

(2) Claudio Jannet. *Etats-Unis contemporains.*

(3) Ch. Morisseaux. *Conseils de l'industrie et du travail.* 24, Folk Bruxelles.

tentatives dans ce but ; mais quand on se sent fort, on rompt les engagements, sans s'inquiéter des conséquences ; l'association des chevaliers de Saint-Crépin, dans le Massachusetts, en donne un témoignage frappant. L'entente n'existe qu'au moment où les deux partis en présence sont épuisés ; quand l'un est plus fort que l'autre, toute son action n'a qu'un seul objectif, l'écrasement du plus faible. Aucun lien moral n'attache le patron à l'ouvrier. Le gain est le but unique et, pour l'obtenir, on foule aux pieds tous les devoirs et tout respect de la loi. C'est au moins ce qui se produit le plus souvent dans ce pays de l'argent. Ce qui fait le plus défaut en ces pays, ce sont les rapports entre patrons et ouvriers. Quand, par exception, ces rapports peuvent s'établir, on obtient aussitôt de bons résultats, mais c'est fort rare.

M. Carrol Wright, dans son ouvrage : *Strikes and Lock outs*, qui comprend une statistique générale des grèves, nous apprend que sur cent grèves et du fait des conseils d'arbitrage, quatorze aboutissent à des concessions mutuelles, quarante échouent complètement et quarante-six réussissent. Nous avons déjà vu les résultats obtenus en Angleterre, l'Amérique en est fort loin ; les efforts de quelques hommes de bien n'ont pas d'action sensible sur le monde du travail.

On doit cependant constater les quelques résultats auxquels on est arrivé, au milieu de cette fièvre de la spéculation et des abus les plus révoltants. On doit aussi retenir le système de l'échelle du salaire progressant ou diminuant suivant le prix du produit ; il est dû à l'initiative privée, il est lié à un désir d'apaisement, de conciliation ; il témoigne au moins d'une certaine bonne volonté qui peut amener, dans l'avenir, un état plus humain, que celui que nous nous trouvons dans la douloureuse obligation de signaler.

Si les États-Unis voulaient suivre le bel exemple d'un pays qui leur est voisin, du Canada, qui grandit chaque jour, pays qui ne connaît pas les luttes sociales, qui ne connaît pas les grèves, qui est simple, patriarcal, petit par sa population, grand par son travail, par sa fortune, par ses idées, par ses principes, ils seraient vite débarrassés de leurs misères. Le premier ministre de la province de Québec, qui est en France depuis quelque temps, nous en a fait un tableau saisissant ; ce pays donne vraiment l'exemple des plus grandes vertus : Français par le cœur, heureux de parler de la mère patrie, malgré les souvenirs d'un abandon, qui est une tache dans notre histoire, M. Mercier nous disait, en faisant allusion aux

luttes sociales, qui sont le fléau actuel de toutes les nations industrielles, que l'arbitrage était le seul moyen de résoudre ces difficultés troublantes ; il ajoutait cependant qu'on n'aboutirait par ce moyen, qu'en s'appuyant sur les grandes vérités. Cette parole venant de si haut et d'un véritable ami de la France, d'un fils à sa mère, comme il le dit souvent, sera-t-elle entendue? Elle devait, dans tous les cas, être rappelée ici, où nous voulons éviter ces luttes, où nous cherchons à trouver la paix par la conciliation des intérêts et par l'arbitrage des difficultés. Si, malheureusement, ces difficultés se poursuivent, si seulement elles restent à l'état latent, pour éclater un jour avec violence, quand la passion sera leur seul guide, nous sommes menacés de gros orages, de véritables cataclysmes, qui peuvent nous ramener, et l'Europe avec nous, aux temps les plus mauvais de notre histoire et peut-être causer la ruine complète de la civilisation.

L'Autriche-Hongrie, l'Espagne, l'Italie, ne sont pas absolument tranquilles ; il y a là aussi des mouvements grévistes assez graves ; en Autriche-Hongrie, ils se produisent depuis un certain temps ; en Espagne, des agitations récentes donnent des préoccupations ; en Italie, nous ne voyons pas de troubles sérieux ; les mesures de conciliation et d'arbitrage n'y ont pas encore de grandes racines.

L'Autriche, revenue au régime corporatif, a rétabli l'institution d'une juridiction arbitrale, qui règle les difficultés relatives à l'apprentissage, au salaire et généralement au travail ; cette institution est d'un grand intérêt, mais nous n'avons pas à l'étudier au point de vue pratique et au profit de notre pays ; nous ne pensons pas qu'on songe à rétablir en France les corporations telles qu'elles existaient avant la Révolution. En Espagne, en Italie, nous ne voyons que l'arbitrage volontaire, qui peut toujours se constituer. Les agitations, qui se sont produites dans ces pays, n'ont pas, jusqu'à présent, le caractère violent, qui fait sentir aux populations le besoin de mesures spéciales.

Que pouvons-nous dire de l'Allemagne au point de vue de la conciliation et de l'arbitrage? Au temps présent, on a en Allemagne *l'arbitrage d'État*. C'est la conséquence naturelle des lois de ce pays, qui ont un caractère de socialisme d'État, qui n'est plus à discuter ; on peut juger de leurs résultats, par l'état actuel des relations qui existent entre patrons et ouvriers ; la lutte est mar-

quée très nettement dans l'industrie houillère, où, en face des associations puissantes des ouvriers, nous trouvons aujourd'hui l'association patronale pour la défense des intérêts miniers. Le fait nouveau des grèves générales, qui tendent à s'organiser, est de nature à constituer ces syndicats de patrons en face des syndicats d'ouvriers. Ces luttes pourront être tempérées et le sont depuis longtemps en Angleterre par des conseils de conciliation et d'arbitrage. Si troublée que soit l'Allemagne par les socialismes de toutes sortes, les penseurs allemands ne se désintéressent pas de cette situation; l'un d'eux, M. Hirsch, déjà en 1872, tentait d'en faire comprendre les dangers et exposait l'exemple de l'Angleterre. Une loi spéciale a été votée en 1890, elle n'est pas encore appliquée; cette loi établit un tribunal industriel, qui se rapproche de l'institution des prud'hommes, il juge du contrat de louage et de l'application des règlements d'atelier; subsidiairement, le tribunal peut faire office de conseil de conciliation. La loi, on le voit, est toute récente; elle ne s'appliquera pas sans difficulté, dans un pays où la pratique du socialisme d'État détruit les vrais principes de la liberté. M. Maurice Block fait observer que les socialistes révolutionnaires s'unissent pour la lutte (1). Le nombre de leurs adhérents, nous l'avons déjà dit, s'accroît chaque jour, on arrive peu à peu par la propagande des idées; il n'est pas impossible que les deux socialismes fassent un jour bon ménage, malgré des vues différentes, le fait s'est déjà produit; mais, tous les socialismes réunis ne feront jamais la force d'une nation, cette force ne saurait avoir d'autre base que la liberté. Il paraît difficile qu'elle prenne racine dans ce pays, très puissant sans doute, mais dirigé par des principes qui menacent son avenir.

C'est bien en Angleterre, nous l'avons déjà dit, dans ce pays si longtemps éprouvé par les grèves, par des grèves à la fois terribles et criminelles, qui ont fait connaître des souffrances cruelles, des abus révoltants; c'est en Angleterre aussi que les conseils de conciliation et d'arbitrage ont pris naissance. Les grèves ont des conséquences très douloureuses, elles sont souvent la misère, une misère dont la cause est d'abord volontaire, puis imposée. C'est ce fait fatal, qui a inspiré un grand esprit et aussi un homme de bien, à chercher et à trouver dans l'organisation des conseils de conciliation un moyen, sinon d'éviter toutes les grèves, au moins d'en réduire sensiblement le nombre; l'honneur de cette pensée

(1) *Économiste français*, 22 novembre 1890. La réorganisation du socialisme allemand.

féconde et l'honneur de son application appartiennent à M. Mundella. Une grève imminente se préparait à Nottingham en 1860 ; les ouvriers se disposaient à quitter les manufactures, les patrons étaient sur le point de fermer leurs usines... M. Mundella réunit, dans un conseil et en nombre égal, quelques patrons et des délégués ouvriers ; les hommes en présence se calment, s'expliquent, se mettent d'accord, la grève est évitée. Le conseil constitué s'est maintenu à l'état permanent, son organisation s'est conservée jusqu'aujourd'hui parfaitement intacte. L'exemple a été suivi par toute l'Angleterre. En 1864, dans des circonstances analogues, un peu plus difficiles probablement, M. Kettle, sous une forme plus juridique, introduisit avec succès, dans l'industrie du bâtiment, des conseils d'arbitrage composés, comme les conseils de conciliation, d'un nombre égal de patrons et d'ouvriers ; ces conseils ne sont appelés à formuler leur avis qu'après une tentative infructueuse de conciliation. Généralement, les deux parties s'engagent à se soumettre à leur décision. Ces conseils sont aussi permanents.

Ces conseils de conciliation et d'arbitrage existent dans presque toutes les industries. On sait la gravité des luttes qui ont été provoquées par les *trades unions ;* mais, aujourd'hui et déjà depuis plus de quinze années, qne leur existence légale est reconnue, ce sont les *trades unions* qui, généralement, désignent les ouvriers délégués aux conseils de conciliation et d'arbitrage. Ces Sociétés rendent d'éminents services à la classe ouvrière, elles appliquent leur puissance à vulgariser la conciliation et l'arbitrage, elles agissent au grand jour; dans toutes les réunions solennelles, elles manifestent, avec éclat, leur opinion favorable à l'action bienfaisante de ces conseils et, le fondateur de l'arbitrage, M. Kettle lui-même, déclare qu'il n'existe pas d'organisation plus digne que les *trades unions* pour élire les délégués ouvriers.

En fait, ces conseils rendent les services les plus éminents. D'après un travail de M. Berau, qui a pu relever les résultats de 702 grèves dans la période décennale 1870-1879, on a constaté que 63 0/0 de ces grèves avaient abouti à la conciliation, et que sur les 37 0/0 complémentaires, en dehors du concours des conseils, 27 avaient échoué, 10 seulement avaient réussi.

Un autre résultat plus précis, qui résulte de l'enquête ordonnée par M. le ministre du Commerce, sur les grèves de 1888, nous apprend que, pendant cette année, l'Angleterre a subi 509 grèves, que sur ce chiffre, 72,2 0/0 ont été résolues par la conciliation,

3,3 0/0 seulement par l'arbitrage. C'est là un résultat vraiment considérable, il démontre jusqu'à l'évidence que l'application du principe est entrée dans les mœurs. Il est en effet dans l'intérêt de tous. On constate avec une vive satisfaction que, depuis la pratique de ces conseils, les grèves terrifiantes, que l'histoire a dû enregistrer avec douleur, ont complètement disparu. L'Angleterre est un pays de liberté. L'initiative individuelle et les associations libres y ont toute leur puissance, espérons que la France jouira bientôt de ces bienfaits (1).

Avant d'arriver à notre pays, nous avons encore à étudier ce qui a été fait en Belgique dans les vues qui nous occupent.

On se rappelle les grèves qui ont sévi en Belgique en 1886 et qui ont frappé de stupeur tous les pays civilisés. Sans hésiter un instant, le gouvernement belge a ouvert une enquête sur les faits et les causes de cet événement, sur l'état social de la grande famille industrielle, et de plus a chargé la Commission royale à laquelle il confiait cette enquête, de lui indiquer les remèdes, qu'elle jugerait utile d'appliquer, en vue d'éviter, dans l'avenir, des bouleversements aussi terrifiants.

Le chevalier de Moreau, ministre de l'Agriculture et de l'Industrie, a ainsi précisé son devoir à la Commission du travail : « Il est indispensable au bien de la patrie, disait-il, que l'accord règne entre le capital et le travail ».

Pénétrée de la même vérité, la délégation des Ingénieurs civils a cru devoir prendre ces paroles pour épigraphe de son étude, c'est cette vérité qu'elle s'efforce de démontrer.

M. le ministre belge de l'Agriculture et de l'Industrie a divisé les travaux de la Commission en trois parties : 1° l'organisation du régime du travail ; 2° les rapports entre patrons et ouvriers; 3° les institutions destinées à améliorer le sort de l'ouvrier. Et, en exposant ces trois parties dans une revue rapide, M. le ministre s'occupe particulièrement des conseils de conciliation, reconnaît que la réglementation de travail s'établit plus sagement par les mœurs que par les lois, dans tous les cas, que l'initiative privée doit avoir, pour l'organiser, une action prépondérante. La Belgique avait chez elle un exemple de ce système, il n'est pas sans intérêt de le faire connaître, car il va être la base d'un projet qui sera admis par les parlements de la Belgique.

(1) Voir encore à ce sujet un article intéressant de M. Pierre Fontaine, sur les Chambres de conciliation à propos des grèves des dockers et des ouvriers du Gaz de Londres, numéro du 1er mars 1890. *(Economiste français.)*

En parlant des conseils de conciliation établis en Angleterre, nous avons dit que la Compagnie des charbonnages de Mariemont et de Bascoup les pratiquaient ; ils ont en effet été importés d'Angleterre dans cette exploitation, l'une des plus importantes de la Belgique ; mais M. Weiler, ingénieur en chef des charbonnages de Mariemont et de Bascoup, modifia, en les étendant, les attributions de ces conseils.

M. Weiler a surtout été préoccupé par la pensée de prévenir les difficultés, et c'est là en effet le point essentiel. Pour les prévenir, il faut les connaître, au moins les pressentir. Pour cela, les rapports fréquents sont nécessaires. Ce sont les rapports qu'il songe d'abord à établir, et il le fait en organisant des *chambres d'explications* composées de représentants de l'administration et de délégués ouvriers. Ces représentants des deux intérêts, qui doivent être unis et non divisés, sont en nombre égal ; ils se réunissent chaque mois, ils étudient toutes les réclamations des ouvriers que leurs délégués jugent dignes d'un examen, et notamment, ce qui intéresse le salaire, les règlements, le contrôle du travail, les pénalités ; on échange les raisons, les observations ; on admet ou on refuse. L'ouvrier a une réponse motivée précise, détaillée ; il sait et voit qu'on s'est occupé de sa réclamation. On le considère comme un homme sérieux, c'est là un élément de paix et cette manière de faire lui est due.

Ces rapports sont aussi utiles au chef d'industrie qu'aux ouvriers, car dans les chambres d'explications les règlements sont étudiés. Les délégués ouvriers les apprécient, ils en examinent la portée, leurs observations peuvent les modifier, quelquefois les faire rejeter. Dans tous les cas, quand on les applique, on sait ce que l'on fait, on a tiré parti des vues de tous ceux qui sont intéressés à la pratique d'un nouvel élément utile. On ne rencontre plus dans l'application la force d'inertie qui est souvent un obstacle fatal à toute mesure utile.

Ces chambres d'explications fonctionnent depuis plus de quinze années, dans cette grande exploitation de Mariemont, qui occupe plus de 6 000 ouvriers. Le terrain était parfaitement préparé pour y pratiquer les conseils de conciliation et d'arbitrage, et la loi de 1887 tiendra grand compte de ce bel exemple. La paix n'avait jamais été troublée dans ces ateliers et dans ces derniers temps même, à l'occasion des grèves de 1891, si les ouvriers ont dû quitter quelques jours leurs travaux, ils ont déclaré à leurs patrons qu'ils ne le faisaient que par un sentiment de solidarité et

qu'ils n'avaient rien à réclamer à la Compagnie. On sait qu'il s'agissait d'une question politique.

La commission royale belge, dont M. Brants était le rapporteur (1), crut devoir limiter ses vues au système de la conciliation; elle connaissait la pratique des conseils de conciliation et d'arbitrage de l'Angleterre. Nous avons exposé les résultats importants obtenus par ces conseils; ils ont été en partie la base du projet de la commission royale. Son but était d'aplanir les difficultés entre patrons et ouvriers; ses décisions étaient sans sanction, ou au moins n'avaient pour sanction que l'opinion publique. La commission s'inspirait de la pratique du système de M. Mundella, qui avait fait ses preuves en Angleterre, comme nous l'avons constaté.

Le projet de la commission laissait à l'initiative privée le droit de constituer ces conseils. Le gouvernement n'intervenait d'office, en cas de grève, qu'à son défaut.

Dans des questions aussi délicates, il n'est pas toujours sage de transporter dans un pays une coutume pratiquée dans un autre, quel que soit son succès. La Belgique n'est pas l'Angleterre. Le gouvernement belge a jugé qu'il fallait modifier le système anglais; il a voulu, comme M. Weiler, prévenir les difficultés, agir avant tout conflit, avant la déclaration de guerre. Nous verrons, que c'était déjà là le but où tendait, en 1872, la Société que nous avons l'honneur de représenter au congrès.

Le projet des conseils de l'industrie et du travail, consacré par la loi belge du 16 avril 1887, forme d'abord une assemblée consultative, qui traite des intérêts communs aux patrons et ouvriers et qui, en outre, peut agir comme conciliateur et comme arbitre. Son rôle important est celui de s'occuper des intérêts communs, d'étudier dans ce but les divers modes de rémunération du travail, les habitations ouvrières, l'économie de la vie, l'épargne, les assurances, tout ce qui intéresse la réglementation du travail.

Ce rôle pourra être rempli en France par le conseil supérieur du travail. Il vient d'être créé un conseil de ce genre en Angleterre; il en est question dans d'autres pays, particulièrement en Espagne et même en Amérique; partout ces conseils sont appelés à rendre de grands services.

(1) Voir, pour plus de détails, le Rapport de M. Brants. Bruxelles, éditeur A. Lévêque.

Voici, en résumé, les traits principaux de la loi belge de M. Frère Orban :

Le Conseil de conciliation est institué dans toute localité où l'utilité en est constatée, il peut se diviser en plusieurs sections ; chaque section est composée, en nombre égal, de patrons et d'ouvriers, elle choisit dans son sein un président et un secrétaire. Quand un conflit se produit, la section cherche les moyens de conciliation qui peuvent y mettre fin ; si l'accord ne peut s'établir, la délibération est résumée dans un procès-verbal qui est rendu public.

Le but de la loi est de favoriser le moyen de discuter les intérêts communs des patrons et des ouvriers et aussi de débattre toutes les questions qui intéressent le travail ; les Conseils ne peuvent rien prescrire, rien ordonner, leurs décisions n'ont d'autre sanction que celle de la bonne volonté ; mais les procès-verbaux sont publiés : il en résulte une sanction morale, celle de l'opinion publique. C'est aussi ce que demandait la Commission royale.

On ne saurait juger de l'effet de cette loi ; en fait, elle n'a pas encore fonctionné, le Ministre s'occupe de la mettre en œuvre. La Belgique reste très troublée par des grèves qui prennent un caractère spécial, les ouvriers sont de plus en plus sous l'action des meneurs, des politiciens, des anarchistes ; la question des intérêts occupe une place secondaire, ce n'est pas le moment d'espérer un résultat général favorable, analogue à celui obtenu en Angleterre. Mais il faut noter que les Conseils de conciliation et d'arbitrage en Angleterre datent de 1860 et de 1864 ; le temps a permis qu'ils entrassent dans les mœurs, ils ont pu faire juger leur bonne volonté, leur esprit de justice, leur indépendance, leurs grands services ; il convient aussi d'observer, qu'en Angleterre, l'action politique est toujours en dehors des intérêts, c'est là un bienfait que la Belgique ne possède pas en ce moment.

Nous ne terminerons pas ce que nous avons à dire de la Belgique, au sujet des rapports relatifs aux patrons et ouvriers, sans dire un mot des grèves vis-à-vis la législation des prud'hommes et devant la justice de paix.

Le fonctionnement des Conseils de prud'hommes a été organisé en Belgique par la loi du 7 février 1859 ; il a été notablement modifié et étendu, par la loi du 31 juillet 1889. Leur caractère est ainsi défini :

« Ces Conseils sont institués dans le but de vider, par voie de

» conciliation, ou, à défaut de conciliation, par voie de jugement, » les différends qui s'élèvent, soit entre les chefs d'industrie et » les ouvriers, soit entre les ouvriers eux-mêmes. »

La statistique des affaires portées devant le Conseil des prud'hommes de Charleroi, en 1889, constate que 732 affaires lui ont été soumises; que, sur ce nombre, 160 seulement n'ont pu être conciliées.

Sur l'avis des Conseils de prud'hommes, les règlements industriels ont été déposés au greffe des Conseils. L'usage établit que, dans le bassin de Charleroi, le contrat de louage, conclu sans limitation de durée, ne peut prendre fin que sur un préavis de quinze jours. D'après cet usage, une Société poursuivait X... et consorts pour abandon de leur travail sans motif. Il s'agissait d'un abandon général au moment d'une grève, sans le préavis de quinzaine exigé par la coutume. X... et consorts ont été condamnés. Un jugement analogue a été rendu par le juge de paix du canton de Seraing (1).

Ces jugements ont un caractère nouveau d'une importance qui ne saurait nous échapper et que nous tenons à faire remarquer; ils se rattachent à notre vœu le plus ardent, en vue de la paix des ateliers, l'abandon du travail sans préavis qui se pratique dans le monde entier, est contraire à tous les usages, on ne s'explique pas qu'il soit toléré; c'est un grand honneur pour la Belgique de réagir pratiquement, légalement et juridiquement, contre un abus dont partout chacun a pu juger les dangers.

On a vu les efforts de la Belgique et on est obligé d'observer que les efforts ne paraissent pas calmer les esprits. La grève de mai 1891 n'est pas cependant une lutte contre l'industrie, elle a eu un caractère exclusivement politique, elle paraît témoigner le désarroi complet des hommes qui ont eu les prétentions de la diriger.

Les ouvriers belges comptaient sur un double concours de l'Allemagne, de l'Angleterre, de la France; on devait s'opposer aux expéditions de houille, elles ont été considérables et tous les pays y ont contribué ; l'argent des ouvriers devait soutenir la grève, on ne s'est pas aperçu qu'il en ait été mis à la disposition des grévistes.

Cette grève n'a pas été générale, aucune réclamation n'a été

(1) Voir les circulaires nos 372 et 428 du Comité central des Houillères de France, 20 janvier, 16 avril et 18 mai 1891.

présentée aux industriels, ni avant, ni pendant, ni après le chômage.

Nous avons la confiance qu'elle sera pour les ouvriers une leçon salutaire, qu'ils verront enfin que leurs meneurs se jouent d'eux, qu'ils comprendront leurs devoirs.

La loi des conseils d'industrie et du travail est une loi de liberté et de sage progrès, nous espérons que le gouvernement belge va en organiser l'application et nous avons la conviction qu'elle rendra les plus signalés services ; elle éclairera les ouvriers. Les industriels doivent faire les plus grands efforts dans ce but ; nous avouons que nous sommes surpris qu'ils ne suivent pas, de leur propre initiative, les beaux exemples de la Compagnie de Mariemont ; car, c'est certainement par les rapports continus que la confiance peut s'inspirer et la paix s'établir.

Nous arrivons à notre pays et nous devons constater, tout d'abord, que nous n'avons jusqu'à présent aucune organisation, libre ou légale, qui se rapproche des Conseils libres d'Angleterre ou de la loi belge de 1887 ; nous devons cependant dire, de suite, que les études sur ce sujet ne font pas défaut et nous allons voir ce que la Société des Ingénieurs civils a fait dans cette voie, au lendemain de nos désastres, en 1872.

Quelques mots, d'abord, sur l'historique juridique des droits de l'ouvrier.

La liberté du travail en France date de la Révolution, elle fut l'objet de la loi du 17 mars 1791 ; trois mois après, elle était réglementée sévèrement par la loi des 14-17 juin 1791 ; en 1810, elle fut modifiée et la loi célèbre, qui porte cette date, édicta des peines très graves contre les coalitions fomentées par les patrons et ouvriers, et aussi contre la liberté du travail ; en 1849, divers projets, soumis à l'Assemblée législative, furent étudiés et aboutirent au maintien des principales dispositions de la loi de 1810, qui resta en vigueur jusqu'en 1864. On sait qu'à cette date, sur l'initiative de l'empereur, la loi de 1849 fut abrogée et que la Chambre, ne tenant aucun compte des catastrophes, qui, à l'étranger et particulièrement en Angleterre, avaient suivi les lois sur les coalitions, vota la loi présentée par M. Ollivier, qui proclame la liberté absolue des coalitions, autant pour les patrons que pour les ouvriers.

Cette loi, on voulait l'espérer, devait avoir pour résultat l'harmonie du corps social. Les grèves de la Ricamarie, d'Aubin, du

Creusot ont démontré, trop vite, qu'elle n'avait pas calmé les esprits et, de 1865 jusqu'en 1870, les grèves ont été partielles, mais constantes, nous avons vu leur progression rapide. Nous sommes toujours sous le régime de cette loi, qui présente un défaut grave, ou du moins une lacune importante. Elle fixe un droit sans en définir l'exercice.

M. E. Muller, président de la Société des Ingénieurs civils, en 1872, fit à la Société une proposition, en vue de nommer une Commission pour étudier la loi de 1864 sur les coalitions et pour chercher les améliorations qu'on y pourrait apporter ; il tint à la présider (1). Cette Commission était principalement composée d'ingénieurs qui, par expérience, connaissaient les questions ouvrières et leurs devoirs touchant les grands intérêts qui leur étaient confiés, elle était absolument indépendante. Son premier acte, sans discussion, a été de reconnaître, à l'unanimité, le droit des ouvriers de se concerter et de s'entendre, pour discuter les prix et les conditions de leur travail; elle jugea également que ce droit était, à ses yeux, conséquent du principe de la liberté du travail et qu'il pouvait être, comme l'espéraient les auteurs de la loi, un gage de relations meilleures entre le capital et le travail, dont l'union est indispensable à la fortune publique.

Cette Commission a jugé, avec la même unanimité, que l'exercice de ce droit devait être défini, qu'il ne devait pas s'exercer brutalement ni spontanément, que l'ouvrier ne devait l'appliquer qu'à la dernière extrémité et qu'après avoir épuisé tous les moyens de conciliation.

Sous l'empire de ces préoccupations, elle observa que dans le domaine de la famille civile, la loi s'efforçait de retarder les désunions et les séparations les plus justifiées, par des délais, des formalités, des Conseils et des tentatives obligatoires de conciliation. Elle jugea qu'il convenait d'entourer de ces dispositions tutélaires, la grande famille industrielle, elle voulut éviter les surprises et décourager les agitateurs, les politiciens sans scrupule, qui se servent si facilement des masses, auxquelles ils promettent l'impossible, pour asseoir leur fortune politique. Sa préoccupation était aussi de défendre le principe de la permanence des engagements. Ce principe si bienfaisant de la stabilité dans le même atelier, si honorable pour l'ouvrier qui le pratique, si respecté généralement par les patrons et surtout par nos grandes Compagnies

(1) Composition de la Commission: MM. Deligny, Forquenot, Gibon, Grand, Marché, Normand, Périssé.

de chemins de fer ; elle songeait également à ménager les épargnes, dont les grèves sont destructives. Son avis a été que la collectivité seule pouvait garantir la vraie liberté et en même temps établir l'équilibre des forces en présence. Pour tous ces motifs, elle voulait avant tout retarder la déclaration de guerre, elle proposa de modifier la loi du 27 mai 1864. Voici ses conclusions :

Une peine serait infligée aux patrons et ouvriers, qui n'auraient pas fait précéder la suspension ou l'interruption du travail des prescriptions suivantes :

1° Toute suspension ou interruption collective du travail, ayant pour but d'en changer le prix ou les conditions, devrait être précédée d'un avis signifié quinze jours à l'avance.

2° Dans les quinze jours qui suivraient la déclaration de suspension ou cessation de travail, les parties intéressées porteraient le débat, devant une chambre de conciliation. Cette chambre, nommée chaque année et par chaque corps d'état, serait composée d'un nombre égal de patrons et d'ouvriers, son président serait nommé par elle, ou, en cas de partage, ce serait de droit le juge de paix du canton.

La chambre de conciliation, ainsi constituée, recevrait les dires contradictoires, chercherait et proposerait les termes d'une conciliation, elle tiendrait procès-verbal de ses travaux, sauf des réserves expressément demandées par les parties. Ces procès-verbaux seraient mis à la disposition des intéressés, qui pourraient les consulter sans déplacement, après la clôture des négociations.

3° Si, dans le délai de quinze jours, la conciliation n'était pas obtenue, mais cependant présentait une sérieuse probabilité de réussite, la chambre pourrait prolonger le delai obligatoire de quinze jours en plus.

Je ne dois pas cacher que si ces conclusions ont obtenu l'unanimité des membres de la Commission, elles n'ont pas eu l'adhésion complète de nos collègues ; elles ont été discutées notamment par MM. Benoit Duportail, Desmousseaux de Givré et Gaudry, toutefois les objections ne portaient pas, en fait, sur les conclusions, elles portaient sur le principe même du droit de coalition que nous jugions indispensable ; le temps a bien prouvé que nous ne nous étions pas trompé. Nos contradicteurs avaient également une foi douteuse dans l'autorité des conseils de conciliation (1).

Sans doute, ces conseils n'ont d'autre caractère que celui que nous

(1) *Bulletin de la Société des Ingénieurs civils*, année 1872.

leur avons donné, la conciliation n'aura jamais le même effet qu'un jugement. Mais, dans le cas présent, ce jugement ne dépend de personne, c'est l'affaire des parties en présence, on ne saurait pas plus imposer une augmentation de salaire à la charge d'un patron ou d'une Compagnie industrielle, qu'on ne saurait contraindre un ouvrier à donner son travail pour un prix défini ; ainsi le veut la liberté. Quoi qu'il en soit, il paraît certain que des Conseils composés d'hommes de bien, en dehors de toute pression politique, donneront des avis précieux et rendront de grands services. L'Angleterre pratique ces Conseils depuis trente années ; nous avons précisé leurs résultats par des chiffres qui parlent plus haut que tous les raisonnements.

Nous voulons répéter ici, avec la Commission de 1872, dont l'un de nous faisait partie, que nous reconnaissons, comme elle, le droit des ouvriers de s'entendre et de se concerter pour discuter les prix et les conditions de leur travail, rien n'est plus juste et nous reconnaissons par là la légitimité des grèves, — s'il y en a d'injustes il y en a de fondées ; — mais, quand les ouvriers abandonnent leur travail brusquement et brutalement, quand ils compromettent ainsi tous les intérêts, ils manquent gravement à leurs devoirs, aux contrats d'usage et la loi ne doit pas le permettre, nous venons de voir la jurisprudence des Conseils de prud'hommes et de la justice de paix de la Belgique. Ce pays nous donne là un exemple précieux. Rompre ses engagements, c'est un acte injuste, la loi doit être inspirée par la justice. Quel que soit le motif d'une grève, il doit être présenté aux chefs d'industrie, par ceux qui le jugent assez grave pour abandonner leur travail, tous moyens de conciliation doivent être épuisés avant la déclaration de guerre... c'était ainsi que nos devanciers jugeaient la question, nous la jugeons de même aujourd'hui. La conciliation, au besoin l'arbitrage, sont des moyens puissants de ménager à la fois les intérêts et les bons rapports, qui sont encore plus précieux. La Société des Ingénieurs civils et son éminent président ont bien fait d'étudier dès 1872 les moyens d'y arriver et le Congrès des Sociétés savantes, permettez-nous, Messieurs, nos honorés maîtres, de le dire ici, fait bien également d'en poursuivre l'étude

Notre pays n'a pas seulement à produire cet acte isolé, il en est d'autres d'un caractère de plus grande autorité.

Le Gouvernement et plusieurs groupes de députés se sont occupés de projets de loi divers, sur cette question importante, des

conseils de conciliation et d'arbitrage. Mais rien encore n'a pu être ni discuté ni résolu; quand une législature produit de 3500 à 4000 projets de lois, il est difficile de les faire aboutir. Nous devons cependant penser que la question est sérieusement à l'étude et que bientôt elle arrivera en discussion.

M. Le Cour Grandmaison a déposé, dans la séance du 7 décembre 1889, un projet de loi sur l'arbitrage et les conseils de conciliation, précédé d'un rapport très remarquable, qui expose les diverses tentatives qui ont été faites antérieurement à cette date; nous avons le devoir de parler de cette étude.

L'honorable député de Nantes rappelle d'abord, que la Chambre précédente a été saisie de plusieurs projets et propositions de loi relatifs à cette question, ces projets ont fait l'objet d'un rapport de M. Lyonnais, mais aucun n'a pu arriver à discussion. Il signale notamment le projet de loi de M. Lockroy, ancien ministre, et celui de MM. Benjamin et Camille Raspail. Ces projets méritent d'arrêter quelques instants notre attention.

Nous savons qu'en Angleterre, les conseils de conciliation, et aussi l'arbitrage, ne sont que des institutions privées ; les parties peuvent les accepter ou les refuser, il est maintenant dans les mœurs d'y avoir recours et c'est un grand bonheur. M. Lockroy, dans l'Exposé des motifs de son projet, exprimait l'intention d'introduire ces dispositions dans la loi française ; toutefois, M. Le Cour Grandmaison fait remarquer, avec raison, que le texte du projet de loi du ministre tendait à rendre l'arbitrage obligatoire pour les patrons et méconnaissait ainsi, le caractère d'une convention, qui doit rester facultative pour les deux parties ; en outre, d'après le projet de M. Lockroy, le maire de la commune était désigné comme l'intermédiaire entre les parties ; M. le ministre oubliait que le maire en France a toujours eu et a surtout, dans ces temps présents, un caractère politique très marqué et que si une loi faite en vue de conciliation, doit entrer dans nos mœurs, la politique doit en être absolument écartée. Un point grave est à relever dans le projet, c'est que l'arbitrage est obligatoire et cette même obligation existe dans le projet de M. Raspail. Cette seule condition suffit pour que nous repoussions ce projet. L'arbitrage ne peut s'imposer par la loi.

M. Le Cour Grandmaison, dans son exposé des motifs, commence par montrer l'isolement dans lequel se trouve l'ouvrier, il n'a aucune force pour discuter ses intérêts, la suppression de la magistrature spéciale, constituée par les syndics ou jurés des cor-

porations, a laissé l'ouvrier dans l'abandon, de là les coalitions qui se sont formées le lendemain du jour où la liberté du travail a été proclamée, de là les répressions violentes contre ces coalitions.

L'institution des prud'hommes appelés à juger, si le contrat de louage du travail était loyalement exécuté de part et d'autre, a rendu des services ; mais, cette institution a une base trop étroite, pour agir avec autorité, quand des différends graves se produisent dans la grande industrie; elle ne peut intervenir utilement dans les grèves. Nous avons vu, dans plusieurs jugements récents, prononcés par les prud'hommes de Charleroi, que cette loi avait été élargie en Belgique.

De très bons esprits ont pensé qu'il fallait revenir aux corporations. M. Ducarre, cité par M. Le Cour Grandmaison, écrivait en 1871 *qu'il fallait réduire ou supprimer « la liberté individuelle du travail » et la remplacer par des collectivités.* Nous ne sommes pas de cet avis ; mais, si nous voulons conserver la liberté individuelle qui est une force, que tout pays libre doit respecter, nous devons reconnaître que la liberté d'association est indispensable et la loi de 1884 sur les syndicats professionnels doit devenir la base de ces associations ; c'est une loi de liberté, nous ne l'avons jamais méconnu, mais à la condition absolue, qu'en toute circonstance les syndicats professionnels respecteront la liberté du travail ; sans cette liberté, ils ne seraient qu'un instrument de tyrannie. Malheureusement jusqu'ici, cette loi n'a été pour les ouvriers qu'une arme fatale, elle n'a servi qu'à ceux qu'ils ont la faiblesse de subir comme chefs, qu'aux meneurs et qu'aux politiciens qui n'ont pas l'honneur d'être leurs pairs ; ainsi, cette loi a été l'arme qui a fomenté les grèves, sous ce rapport et dans ce but elle existait en fait avant d'être votée. On sait que des syndicats tolérés ont amené la grève d'Anzin de 1886, que les grèves de Decazeville, de Vierzon, dans la même année, n'ont eu pour meneurs que les pires politiciens, qui tous se sont servis de cette arme des syndicats pour atteindre leur but. Cette arme est à deux tranchants, il faut cependant qu'elle serve au bien qu'on en peut tirer et ce bien, c'est l'association au point de vue des intérêts bien étudiés, bien défendus, des intérêts directs en dehors de toute politique. Or, ces intérêts se résument dans l'union des deux forces indispensables à la richesse publique, le capital argent, le capital travail. C'est là le but des conseils de conciliation et d'arbitrage.

M. Le Cour Grandmaison passe en revue ce qui s'est fait à l'étranger en vue de ces conseils, nous en avons fait l'exposé. Il revient ensuite aux études que la France a produites directement, car ce n'est pas d'hier que cette grave question préoccupe les esprits sérieux.

Il rappelle à ce sujet que M. Emile Ollivier, au moment où il présentait la loi sur les coalitions, d'accord avec la majorité de la Commission, songea un instant à introduire dans la loi l'idée féconde de tentative de conciliation, avec sanction morale et sanction pénale, au cas d'inobservation de la prescription légale.

L'article préparé par la commission était ainsi conçu :

« Seront punis d'une amende de 16 à 200 francs et privation » des droits politiques et civils, pendant un an au moins et six » ans au plus, tous ouvriers ou entrepreneurs d'ouvrages qui, » par suite d'un plan concerté, auront cessé ou fait cesser le » travail *sans avoir eu préalablement recours à une tentative de conci-* » *liation*. La tentative aura lieu devant les personnes désignées, » d'un commun accord, par les parties ; à défaut d'accord, devant » le Conseil des prud'hommes, et lorsqu'il n'en existera pas, » devant une Commission mixte, composée d'un nombre égal de » patrons et d'ouvriers, formée par le Tribunal de Commerce. Si » la tentative de conciliation échoue, soit parce qu'il aura été » impossible de s'entendre, soit parce que les parties appelées » n'auront pas comparu, il sera dressé procès-verbal, faisant » sommairement mention que les parties n'ont pu s'accorder. »

L'article fut rejeté par le Gouvernement, nous devons le regretter vivement.

M. Le Cour Grandmaison, à qui rien n'a échappé dans son historique, arrive à la commission nommée en 1872 par la Société des Ingénieurs civils. Nous avons rendu compte de ses travaux, nous n'y reviendrons pas, mais nous devons exprimer à la fois notre vive satisfaction et notre gratitude de voir les travaux de cette commission (composée d'hommes d'opinions politiques très diverses, qui ont su résoudre à l'unanimité l'une des questions sociales les plus controversées) appréciés comme ils le sont, par l'éminent député dont nous rappelons le beau travail. M. Le Cour Grandmaison reproduit dans son rapport, ce que je puis appeler l'exposé des motifs de la loi que nous avons formulée en 1872 et termine par ces paroles :

« On le voit, la commission des Ingénieurs civils a précisé des » dispositions qui forment un projet de loi complet ; nous n'en

» avons pas adopté tous les détails, mais nous croyons, dans » l'ensemble du projet que nous soumettons aujourd'hui à l'ap- » préciation du Parlement, avoir tenu compte, dans la mesure du » possible, des vœux formulés par les hommes si compétents et » si distingués dont nous venons de citer les noms. »

Ces prémisses et ces efforts n'ont pas été absolument sans conséquence, des tentatives d'arbitrage se sont produites et ont eu quelques résultats, mais elles ont été isolées; cependant, M. Le Cour Grandmaison cite celles pratiquées à Nantes, dans l'industrie des chaussures; l'action des Syndicats des jardiniers, à Nantes également; un Conseil d'arbitrage permanent des menuisiers et ébénistes dans la même ville; l'Association des tisseurs de Lyon pratique également l'arbitrage; bien que nous n'ayions pas de statistique relative à ces institutions, nous ne pensons pas qu'elles aient un développement marqué dans notre pays, une loi est nécessaire, et nous arrivons au projet de M. Le Cour Grandmaison. Nous ne pouvons qu'en indiquer les lignes principales; pour en connaître les motifs et les termes, nous renvoyons au *Journal officiel* du 4 mars 1890.

Le projet se divise en deux titres :

Titre premier : *De l'arbitrage.*

Les patrons et ouvriers pourront provoquer entre eux un arbitrage sur tous litiges relatifs aux salaires, aux modes et dates de paiement, à la durée du travail, aux garanties de salubrité et de sécurité du travail.

Le Président du Tribunal de commerce, à son défaut le Président du Tribunal civil ou le Juge de paix, sont intermédiaires entre les parties qui veulent se soumettre à l'arbitrage ; les parties nomment leurs arbitres.

Les conditions de tout arrangement sont consignées par un procès-verbal, elles seront affichées au lieu désigné pour les affiches judiciaires ; elles peuvent être rendues exécutoires.

Titre second : *Conseils permanents de conciliation et d'arbitrage.*

Les patrons et ouvriers appartenant à des industries similaires peuvent constituer d'un commun accord un Conseil permanent de conciliation et d'arbitrage. En vue de régler toutes difficultés relatives aux questions professionnelles, ils prennent l'obligation d'honneur de se soumettre aux décisions du Conseil. Quand ils sont légalement constitués en syndicats, l'engagement du Conseil syndical lie l'association. Le nombre des délégués ouvriers est

égal à celui des délégués patrons. Je ne parle pas du mode d'élection assez complexe : les délégués nomment leur président, leur secrétaire, au besoin des tiers arbitres.

L'institution du Conseil de conciliation a pour but de prévenir, *avant qu'elles se soient manifestées par des actes extérieurs*, toutes les difficultés qui pourraient survenir entre patrons et ouvriers et d'intervenir, *avant tout conflit*, dans les questions professionnelles qui pourraient troubler les bons rapports entre patrons et ouvriers.

Quand le Conseil de conciliation ne peut rétablir les bons rapports, il renvoie les parties devant le Conseil d'arbitrage.

Les patrons et ouvriers qui ont constitué des Conseils permanents de conciliation ne peuvent, en ce qui touche les patrons, modifier les règlements d'atelier, ni changer les tarifs des salaires sans en donner avis quinze jours à l'avance ; et, en ce qui touche les ouvriers, ils continueront le travail pendant tout le temps que le Conseil sera saisi des réclamations contre les nouveaux tarifs ou nouveaux règlements.

Les décisions des Conseils de conciliation et d'arbitrage sont rendues publiques, elles engageront seulement l'honneur des parties qui ont accepté leur juridiction.

Il y a certainement dans ce projet de loi des mesures qui favorisent la conciliation ; le principe le plus important qu'on y a introduit, comme l'avait fait la commission de la Société des Ingénieurs civils, est le temps de la réflexion, l'obligation de pratiquer tous les moyens de conciliation *avant aucune manifestation extérieure, avant tout conflit*.

C'est là une mesure capitale, un principe tutélaire qui est pratiqué régulièrement, sous l'empire de la loi, dans l'intérêt des familles ; la commission des Ingénieurs civils l'avait observé, il serait juste de l'appliquer à la grande famille industrielle, dans son intérêt et dans l'intérêt du pays.

Nous n'avons pas terminé la revue des études sur la conciliation et l'arbitrage. Vous savez, messieurs, que la Chambre des députés a décidé, dans la séance du 4 novembre 1890, la création d'un Conseil supérieur du travail; ce Conseil est un instrument d'études, pour examiner les projets et pour préparer les solutions sur lesquelles le Parlement doit avoir à se prononcer. M. le ministre l'a constitué à la date du 23 janvier dernier. Il est composé d'abord des hauts fonctionnaires du Ministère du Commerce et de l'Industrie, des présidents de la Chambre et du Tribunal de com-

merce de la Seine, de sénateurs et de députés, d'ingénieurs de l'État, d'ingénieurs civils, d'industriels, de publicistes, d'ouvriers attachés aux syndicats, ou faisant partie des Conseils de prud'hommes; il comprend cinquante membres; il est présidé par le ministre.

Ce Conseil est divisé en quatre commissions. La première question qui lui a été posée est celle de l'arbitrage (1). Il est d'un grand intérêt de rendre compte ici de ses travaux : son rapporteur, M. Finance, peintre en bâtiment, membre du conseil des prud'hommes, membre de la commission des logements insalubres à Paris, les a exposés dans un rapport substantiel qui mérite notre attention. Ce rapport, sage et modéré, nous paraît une réponse indirecte aux revendications violentes qui se sont produites récemment aux congrès nationaux et internationaux; il peut avoir des résultats fructueux pour la paix des ateliers, il répond aux préoccupations du Congrès. Sa place est marquée dans notre étude.

M. Finance établit, en premier lieu, que toute discussion du principe lui paraît hors de cause, personne aujourd'hui ne conteste les bienfaits de l'arbitrage; on se demande seulement si, pour en tirer profit, une loi est nécessaire. Il résulte, en effet, d'une enquête ordonnée par M. le ministre du Commerce en 1890, que la plupart des chambres de commerce, des chambres consultatives des arts et manufactures et même des conseils de prud'hommes, se sont montrés hostiles à l'édiction d'une loi spéciale sur l'arbitrage.

Les objections sont : que la loi des syndicats autorise l'arbitrage, que les décisions des arbitres sont sans sanction.

Le rapport répond : qu'on peut soutenir, en effet, que la loi autorise l'arbitrage, mais rien dans cette loi n'invite à la conciliation, à l'arbitrage; on n'y trouve aucune indication qui doit y conduire; il expose que les grèves, que l'on se propose de prévenir, ou que l'on espère abréger, se produisent souvent dans des localités où il n'existe pas encore de syndicats. Il n'y a pas de sanction légale aux décisions des arbitres, est-ce une raison pour y renoncer? Le Conseil supérieur ne le croit pas. Nous partageons son avis.

Depuis trente années, en effet, l'Angleterre pratique la conciliation et l'arbitrage avec succès, l'action de ces conseils est souvent préventive, c'est là un fait; si l'arbitrage n'a pas une sanc-

(1) Cette Commission était composée de MM. Baïhaut, président, Barailler, Bertrand, Bessand, Boude, Depasse, Finance, Janin, Mazurier, de Mun, Parché, Parent et Villard.

tion légale, il a une sanction morale — l'opinion publique ; — cette force morale, si puissante et à laquelle nous attachons le plus grand prix, s'oppose aux revendications injustes et frappe les abus de déconsidération ; mais, pour obtenir ces précieux résultats, les membres de ces conseils doivent être choisis parmi les hommes qui méritent l'estime publique.

Le Conseil supérieur indique que les conseils devraient être composés en nombre égal de patrons et d'ouvriers, ils nommeraient au besoin les tiers arbitres choisis parmi les hommes d'une impartialité sans conteste.

Un tribunal arbitral, composé de juges respectés, serait la digue la plus solide qu'on puisse opposer à l'injustice ; l'injustice ne se produisant pas, la paix est garantie.

En suivant cet ordre d'idées, on est conduit à laisser l'arbitrage facultatif ; le juge de paix se trouve désigné pour être l'intermédiaire naturel des parties, pour deux raisons principales : il n'est pas industriel et n'est pas soumis à l'élection. Nous voulons espérer qu'il sera indépendant, dans tous les cas il n'est pas juge, son rôle se borne à mettre les parties en rapport. Sans doute ces mesures ne pourront pas avoir immédiatement tous leurs bons effets, mais, peu à peu, elles entreront dans les mœurs, par leur esprit de justice et par les services qu'elles rendront, la publicité des décisions sera pour elles un puissant appui.

Nous avons dit que ces décisions, rendues publiques, auraient d'excellents effets sur l'opinion et, de plus, que l'opinion mettrait toujours les ouvriers et les patrons en garde d'actions injustes ; il faut que les décisions fassent plus et le Conseil supérieur a raison d'indiquer que les décisions formulées seront la loi des parties, qu'elles auront une durée précisée ou au moins, qu'on devra, avant de les modifier, les dénoncer par un avis donné pour un temps défini ; que dans cette période, le travail ne pourra, pour aucune raison, être abandonné. Cette prescription doit être la pensée dominante des auteurs de la loi, si l'on veut assurer la stabilité des intérêts, la sécurité des personnes et s'assurer le respect de l'opinion publique.

En résumé, le Conseil supérieur du travail demande qu'il y ait une loi, que son caractère soit facultatif, que le juge de paix soit l'intermédiaire officiel des parties, que l'administration publie les décisions des conseils ; que les décisions fixent la durée des conventions, ou, au moins, la durée d'un délai d'avis pour les dénoncer.

Tels sont les points essentiels de l'arbitrage, au moment où une grève est sur le point de se déclarer, même quand elle est déclarée.

Le Conseil supérieur du travail s'est demandé si ces conseils devraient être permanents. Il a répondu par l'affirmative, et, en effet, la permanence de ces conseils est encore une mesure préventive, peut-être la meilleure, en vue d'éviter de nouveaux conflits collectifs ; leur existence fixe l'attention des patrons et des ouvriers, ils sont des organes permanents de conciliation. On observe, avec raison, que le principal obstacle à l'établissement d'un système permanent d'arbitrage et de conciliation est le défaut d'organisation chez les ouvriers et chez les patrons. C'est au moins l'avis de M. H. Crompton, arbitre permanent pour les manufactures de dentelles de Nottingham. « L'arbitrage, dit-il, a toujours un plein succès, partout où il existe des associations régulières » (on se rappelle que Nottingham a été le berceau des conseils de conciliation). Sans nul doute, il faut des associations et, dès lors, nous revenons à la loi de 1884 sur les syndicats, qui est une loi de liberté, nous ne saurions trop le répéter, surtout parce que jusqu'ici, les ouvriers ont permis, très maladroitement pour eux, qu'elle fût appliquée par des chefs étrangers à leurs intérêts et souvent ennemis de ces intérêts. En toute occasion, nous avons affirmé cette opinion sur les syndicats ; en l'exprimant encore au moment où nous arrivons au terme de cette étude, nous devons ajouter que le syndicat professionnel doit être avant tout un instrument de concorde, et s'il échappe aux meneurs, il ne faut pas qu'il devienne une arme d'oppression et de tyrannie aux mains des ouvriers ; nous devons éviter ici toute politique, nous dirons cependant que les hommes de gouvernement sont sous la dépendance du suffrage universel, les ouvriers ont leurs flatteurs. Il y a là un danger que nous signalons simplement. Les courtisans font les despotes. Nous ne voulons, quant à nous, ni tyrannie ni privilège d'aucune sorte.

Jusqu'ici nous devons reconnaître que la politique a joué le rôle prédominant dans les groupements d'ouvriers qui ont formé ces syndicats, on y a fait souvent appel à l'intervention de l'État pour régler les conditions de la vie professionnelle ; c'est là une faute et un danger : les questions de personnes y ont eu plus d'action que l'intérêt général. Or, c'est avant tout l'intérêt général que toute association doit avoir en vue, si elle veut réussir ; c'est cet intérêt qu'elle doit surtout avoir en vue. L'ouvrier français saura-t-il se servir utilement de la liberté d'association ?

M. Finance, qui est leur pair, qui vit dans leur milieu, nous affirme, dans son rapport, qu'il se produit un mouvement spontané des esprits vers la conciliation dans les conflits collectifs, que ce mouvement grandit chaque jour. Il exprime cette opinion fort sage, que les syndicats devraient rayer de l'ordre du jour de leurs assemblées les sujets se rapportant à la politique et dit que cette opinion s'établit; il en donne quelques témoignages en citant : 1° la Fédération typographique, qui groupe une centaine de syndicats, *qui n'apporte son aide à ses adhérents qu'après qu'ils ont épuisé toutes les voies de conciliation* ; 2° il nous informe qu'à l'inauguration de la Bourse du Travail à Lyon, le délégué de Paris déclarait que les questions qui divisaient les patrons et les ouvriers devaient être réglées par l'arbitrage.

Dans ces conditions, le Conseil supérieur du travail demande des conseils permanents de conciliation et d'arbitrage, pouvant se constituer dans chaque profession similaire, entre patrons et ouvriers ; que les syndicats professionnels de patrons et d'ouvriers et employés, régulièrement établis, d'après la loi de 1884, pourront les constituer et exprime le vœu que l'Administration mette à leur disposition les locaux nécessaires à leur réunion.

Les résultats obtenus par les conseils de conciliation et d'arbitrage en Angleterre ont eu certainement leur influence, très justifiée, sur l'opinion du Conseil supérieur du travail.

Ce sont des mesures auxquelles nous pouvons nous rallier et nous déclarons que nous les trouvons excellentes. Si d'abord la liberté du travail est respectée et si on écarte des discussions tout ce qui a un caractère politique ou socialiste, si enfin on ne s'y occupe que des intérêts, les conseils d'arbitrage permanents ne peuvent avoir que de bons résultats.

Ce qui préoccupe l'industrie, ce qui la compromet, ce qui aggrave sa position relativement aux grèves, c'est l'acte de *l'abandon du travail sans avis préalable et sans l'examen des réclamations*. C'est ce point essentiel qui avait frappé la commission de la Société des Ingénieurs civils. Toutes les considérations générales, exposées dans le rapport de M. Finance, ont été l'objet de ses discussions. Il y a un fait frappant, que les mêmes préoccupations soient celles exposées par le Conseil supérieur du travail, par tous ses membres et à l'unanimité. Ce fait devrait être souligné.

Il convient aussi de signaler les paroles prononcées par le ministre à la clôture de la première session de ce conseil : « Le Gouvernement, a-t-il dit, qui a pris parti de nommer un conseil

supérieur du travail, doit se féliciter des faits qui se sont produits dans sa première session, il remercie vivement le Conseil supérieur de l'esprit de vérité, de justice et de concorde sociale, qui a présidé à ses délibérations, il constate que la politique n'a jeté aucune division dans ses débats, qui ont paru n'avoir pour émules que les membres d'une même famille. »

Avant de préciser nos conclusions, il peut convenir de dire encore un mot des congrès ouvriers, pour bien affirmer que ce n'est pas de ce côté que nous trouverons des appuis pour les institutions que recherche le Congrès des Sociétés savantes.

La raison en est simple : les chefs de ces Congrès sont généralement des hommes politiques, si l'on peut donner ce nom aux révolutionnaires, aux anarchistes, aux utopistes qui sont à leur tête.

Nous avons cherché à faire, dans un chapitre spécial, l'exposé des revendications qui se sont produites dans ces Congrès, nous n'y avons trouvé que des appels violents à la haine, depuis le premier Congrès de Halle jusqu'au Congrès de Commentry, comme aussi dans les Congrès internationaux de Paris en 1889 et en 1891 ; les quelques paroles modérées ou de sagesse, qu'on rencontre rarement, sont l'objet d'une indignation générale.

La réunion des ouvriers du 1er mai, dont on ne peut méconnaître la gravité; mais, qui, heureusement jusqu'ici, n'a pas en fait l'importance que les agitateurs voudraient lui donner, a le caractère d'une menace qui peut nous conduire à la barbarie. La journée de huit heures est un acte de socialisme que repousse le principe de la liberté... Il y a plus, au 1er avril dernier, le Congrès des ouvriers tenu à Paris a été international, les délégués se sont déclarés les représentants des mineurs de l'Angleterre, de l'Allemagne, de la Belgique et de la France. Il s'est occupé surtout de politique internationale. On a voté qu'on soutiendrait les mineurs belges dans leur grève générale, en vue de contraindre les pouvoirs publics d'un pays voisin à voter le suffrage universel. Nous n'avons pas à discuter ces vues, mais elles démontrent le danger de ces Congrès, faits, paraît-il, pour toutes les guerres et non pour la paix que nous cherchons. Nous ne pouvons pas les faire intervenir dans les solutions que nous désirons vous présenter... Nous applaudissons au contraire à l'opinion de M. Finance qui nous a annoncé dans son rapport qu'un mouvement spontané des esprits porte les ouvriers vers la conciliation, que ce mouvement grandit

chaque jour et qu'il conduit les syndicats à écarter, de l'ordre du jour de leurs assemblées, tous les sujets qui se rapportent à la politique.

Nous avons parlé surtout de la grande industrie, mais ce que nous avons dit pour elle doit s'appliquer également aux industries moyennes et à la petite industrie, les conseils de conciliation et d'arbitrage auront à leur égard les mêmes effets, le problème qui les intéresse se trouve résolu par les mesures que nous allons préciser. Leur caractère est général.

Nous sommes arrivés au moment de conclure, nous formulons cette conclusion sous forme d'un vœu.

Considérant :

1° Que la loi du 27 mai 1864, qui proclame le droit absolu des coalitions, n'en définit pas l'exercice ;

2° Qu'en fait, ce droit s'exerce spontanément, souvent violemment, que généralement les ouvriers abandonnent une exploitation et se déclarent en grève, sans avoir précisé aucune réclamation aux chefs des établissements qui les occupent, qu'il résulte de cette pratique des préjudices graves pour les patrons comme pour les ouvriers ;

3° Que des conseils de conciliation et d'arbitrage, établis spontanément en Angleterre en 1860 et 1864, par l'initiative privée, ont eu pour résultat d'éviter ou de limiter la durée de nombreuses grèves et notamment en 1888 près de 75 0/0 ;

4° Que des lois créées en Belgique en 1887 et en 1889 dans les mêmes vues font espérer des résultats favorables ;

5° Qu'une commission, nommée en 1872 par la Société des Ingénieurs civils, en vue d'étudier la loi de 1864 a formulé l'obligation d'épuiser tous les moyens de conciliation avant de déclarer la grève, sous peine d'amende et d'emprisonnement ;

6° Que divers projets de loi, dans les mêmes pensées de conciliation et d'arbitrage, ont été présentés à la Chambre des députés, par tous les partis et notamment par M. Le Cour Grandmaison en décembre 1889 ;

7° Que le Conseil supérieur du travail a exprimé les mêmes principes, à l'unanimité de ses membres, par un rapport publié en février dernier, qui appuie la constitution de conseils permanents de conciliation et d'arbitrage ;

La Commission nommée par la Société des Ingénieurs civils, pour la représenter au Congrès des Sociétés savantes, forme le vœu :

1° Que toute suspension ou interruption de travail, du fait des ouvriers ou des patrons, doit être précédée d'un délai de quinze jours au moins, pendant lequel, les ouvriers ou patrons porteront vis-à-vis un conseil de conciliation, composé en nombre égal de patrons et d'ouvriers nommés par leurs pairs, l'objet du débat qui peut exister entre eux, sous peine d'une pénalité fixée par la loi ;

2° Que si le désaccord persistait, il serait porté vis-à-vis un Conseil d'arbitrage, composé comme le premier de patrons et d'ouvriers ; les jugements seraient facultatifs, c'est-à-dire qu'ils n'obligeraient par les parties, mais ils seraient rendus publics.

3° Les Conseils de conciliation et d'arbitrage seraient permanents, ils nommeraient leur président et leur secrétaire, au besoin des tiers arbitres ; le juge de paix du canton serait intermédiaire entre les parties.

La délégation de 1891 arrive ainsi à une conclusion analogue à celle de la Commission de 1872 que nous avons rappelée, mais elle y arrive avec plus d'autorité, parce qu'elle s'appuie sur les faits suivants :

1° Depuis vingt ans, la situation des ouvriers vis-à-vis les patrons, est devenue plus isolée, principalement, par le développement des grandes Sociétés anonymes.

2° Les grèves ont pris une extension considérable, que nous attribuons principalement au défaut des rapports constants, nécessaires entre patrons et ouvriers.

3° Des projets de loi ayant en vue la conciliation et l'arbitrage ont été présentés au Parlement par tous les partis.

4° Les conclusions du Conseil supérieur du travail, félicité par le ministre, pour l'esprit élevé qui a présidé à ses délibérations, sont dans les mêmes vues.

Devons-nous saluer sans réserve l'ensemble des bonnes volontés que nous venons de rappeler, que nous voyons avec une vive satisfaction se produire sur le terrain social ? Nous pouvons au moins le considérer comme un symptôme précieux, comme une appréciation salutaire et juste des difficultés qu'il est grand temps de résoudre ; *on étudie*, nous en avons donné la preuve, *on n'aboutit pas, c'est là un danger pour cette loi, comme pour d'autres qui touchent aux mêmes intérêts.* Tous les hommes qui se vouent, sans parti pris et avec indépendance, à l'étude des luttes sociales, qui voient avec effroi le danger de la guerre entre les deux forces

vives de la production, jugent que cette guerre, si elle persistait, serait une ruine et que, pour la prévenir, les classes élevées doivent remplir leurs devoirs vis-à-vis des ouvriers, comme ceux-ci doivent comprendre et remplir les leurs vis-à-vis ceux qui utilisent leurs forces et leurs mérites. Il faut, des deux côtés, la bonne volonté et l'esprit de justice; il faut surtout les rapports continus, le contact permanent; il faut se connaître, pour tout dire, s'estimer et s'aimer. Dans ces conditions les malentendus ne sont plus à redouter, on cherche la vérité, on évite les conflits, on a la paix des ateliers.

La plupart des membres de la Commission, dont je cherche à traduire les sentiments, ont vécu de longues années au milieu de nombreux ouvriers, ils les connaissent et les apprécient; ce sont très généralement de braves gens qui, en somme, passent leur vie dans le travail, bons pères de famille, attachés à l'industrie qu'ils pratiquent et qu'ils aiment; ils sont animés de bonnes intentions, le travail continu ne produit ni révolutionnaires ni anarchistes; ils sont faibles, très faibles, défiants vis-à-vis leurs chefs, quand ces chefs les abandonnent et ne leur font point sentir leur intérêt, leur estime, leur affection; ils se livrent, sans défiance, au premier venu, souvent à ceux qu'ils ne connaissent pas, et même, depuis quelque temps, à des hommes étrangers à leur pays. Il appartient aux chefs d'industrie français, aux ingénieurs, qui partout sont les directeurs effectifs des travaux, de gagner leur confiance, il suffit de le vouloir pour que ce soit. L'action des meneurs est superficielle; on parle à nos ouvriers de socialisme, est-il difficile de leur prouver que le socialisme leur ferait un sort qui les ramènerait à une réglementation telle, qu'elle serait pour ainsi dire l'esclavage? Allons franchement à eux, et bientôt nos ouvriers reconnaîtront les erreurs qui les conduisent dans les mains de ceux qui n'ont d'autre but que d'abuser, *à leur unique profit*, de leur force numérique et morale.

Les conseils de conciliation formés de patrons et d'ouvriers, choisis par leurs pairs, ne doivent pas avoir pour but unique d'intervenir dans des débats, leur but principal, à nos yeux, *serait de les prévenir*, il est à désirer que la pratique de la Compagnie de Mariemont s'établisse partout. Ces conseils doivent être permanents; pourquoi ne s'occuperaient-ils pas officieusement, dans des réunions d'un caractère familial, des questions de salaires, de primes diverses, de participation, là où elle peut

être pratiquée, d'épargne, appliquée à la mutualité, à la famille, au patrimoine de l'ouvrier, de l'économie de la vie, si facile aujourd'hui, par les Sociétés coopératives, si favorable à l'épargne; du foyer, qu'il serait si précieux d'avoir dans des conditions favorables et d'avenir; ce sont là des sujets inépuisables qui, bientôt, rapprocheraient les hommes qu'on veut diviser, et feraient cesser des désaccords qui ne sont que des malentendus. Nous pouvons beaucoup pour arriver à ce résultat, nous n'avons à demander à nos conseils d'administration que de la bonne volonté; il y a, parmi ceux qui les composent, beaucoup d'hommes distingués et supérieurs, des hommes du plus grand mérite, de la plus haute valeur; leur esprit n'est certes pas celui des Américains, ils sont en situation d'agir dans des vues élevées, générales et généreuses. Nous avons eu et nous avons encore des luttes en France, les luttes sont dans l'essence même de l'humanité, elles existeront toujours; mais ces luttes, si regrettables qu'elles soient, n'ont, que par exception, un caractère aigu; supprimez les agitateurs, les meneurs, les utopistes, tous ceux qui font beaucoup plus de bruit que de besogne, et surtout beaucoup de mal, tous ceux qui n'ont d'autres armes que l'envie et la haine, ou la folie; tous ceux qui veulent la guerre qui ne peut amener que la ruine. Ne cherchez pas à les convaincre, ceux-là sont les ennemis communs. Mais les honnêtes gens doivent s'entendre et agir au grand jour, afin de mériter par des actes utiles le puissant concours de l'opinion publique, qui est une force morale facile à conquérir quand on n'a en vue que la justice; il ne faut pas que par ignorance, de la part des ouvriers; par abandon, de la part des patrons; et pour le bon plaisir de criminels ou de fous, la patrie soit déclarée en danger.

Nous n'atteindrons jamais ce but d'une parfaite entente que par l'intervention des forces morales. Un illustre maître, F. Le Play, nous dit que ces forces morales sont la route qui conduit à la vérité. Espérons, messieurs, qu'il en sera ainsi, ne laissons pas le temps seul agir dans ces vues; agissons nous-mêmes, travaillons sans relâche, sans défaillance, avec la conscience du devoir. Soyons à la fois patients et actifs, appelons à nous simplement, sans flatterie, mais loyalement, des cœurs qui doivent battre à l'unisson des nôtres, et le succès répondra à notre amour pour le bien public.

MÉTHODE GÉNÉRALE DE CALCUL

DES

POUTRES DROITES AVEC POUTRELLES

PAR

M. M. DUPLAIX

Il est facile de déterminer, en chaque point d'une poutre droite, l'effort tranchant T et le moment de flexion M, quand les charges sont directement appliquées à cette poutre. La recherche immédiate des quantités de même nature, dans l'hypothèse de la transmission des charges par des poutrelles, n'est pas aussi simple, et M. Maurice Lévy ne l'a abordée que dans le cas d'une poutre reposant librement sur deux appuis.

Le théorème suivant, qui est général, facilite notablement le calcul des poutres avec poutrelles. Il s'applique indistinctement aux poutres à travées isolées ou solidaires, et quel que soit le mode d'assemblage des poutrelles avec les longerons; ceux-ci peuvent être libres, ou encastrés, ou même disposés en travées continues.

THÉORÈME. — *En un point quelconque d'une poutre droite, recevant l'action des charges par l'intermédiaire d'un système de longerons et de poutrelles, l'effort tranchant t et le moment de flexion m sont égaux à ceux* T *et* M, *que produiraient les mêmes charges si elles étaient directement appliquées à la poutre, diminués respectivement de l'effort tranchant* τ *et du moment de flexion* μ *développés dans les longerons.*

(1) $$t = T - \tau.$$

(2) $$m = M - \mu.$$

Soient : A et B deux poutrelles comprenant la section considérée X et certaines charges $P_i \dots P_k \dots P_n$;

t_A et m_A l'effort tranchant et le moment de flexion dans la section A de la poutre.

Dans l'hypothèse de l'application directe des charges à la poutre, on a en X :

$$T = t_A + \sum_i^k P \tag{3}$$

$$M = m_A + t_A \xi + \sum_i^k P\,(\xi - \alpha). \tag{4}$$

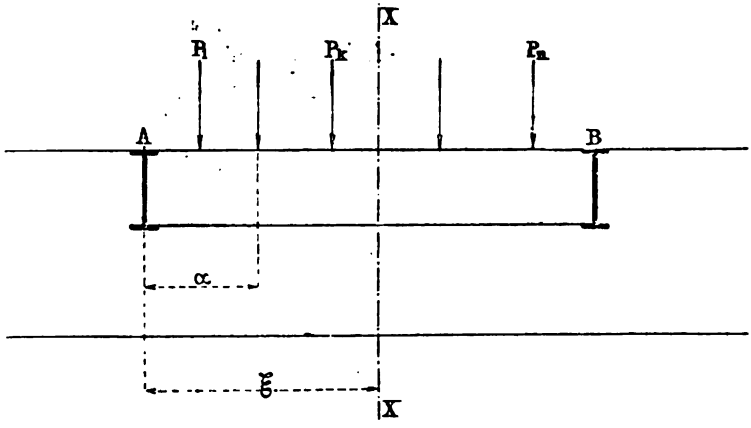


FIG. 1.

Si on suppose que les charges sont transmises par le longeron AB et par les poutrelles, on conçoit que l'on peut supprimer le longeron et les charges qu'il porte, à la condition d'ajouter, dans la section A de la poutre, un effort tranchant $-\tau_A$ et un moment de flexion $-\mu_A$, égaux et de sens contraires à ceux que les charges produisent dans la section A du longeron.

On a alors dans la section X de la poutre :

$$t = t_A - \tau_A \tag{5}$$

$$m = m_A + t_A \xi - \mu_A - \tau_A \xi. \tag{6}$$

Retranchant (3) de (5), et (4) de (6), il vient :

$$t - T = -\left[\tau_A + \sum_i^k P\right] \tag{7}$$

$$m - M = -\left[\mu_A + \tau_A \xi + \sum_i^k P\,(\xi - \alpha)\right] \tag{8}$$

Dans la section X du longeron on a :

$$\tau = \tau_A + \sum_i^k P.$$

$$\mu = \mu_A + \tau_A \xi + \sum_i^k P\,(\xi - \alpha).$$

Si on substitue dans (7) et (8), on reproduit les équations (1) et (2).

1re Application. — *Cas d'une poutre reposant librement sur deux appuis et soumise à l'action de charges isolées fixes.*

Soient : AE la poutre ;

A, B, C, D, E les points d'attache des poutrelles ;
$P_1, P_2, \ldots P_7$ les charges données.

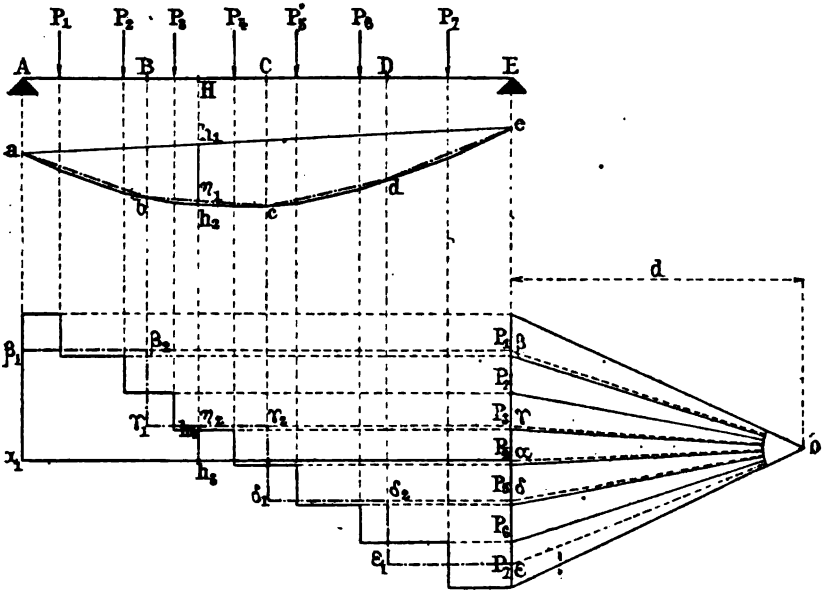


Fig. 2.

On sait que, dans le cas où les charges sont appliquées directement à la poutre, le moment de flexion M en un point H est égal au produit de l'ordonnée h_1h_2, comprise entre le polygone funiculaire des charges et la ligne de fermeture *ae*, par la distance

polaire d; l'un des facteurs étant mesuré à l'échelle des forces, l'autre à celle des longueurs.

$$M = \overline{h_1 h_2} \times d.$$

Si on suppose le longeron BC articulé, le moment μ est égal au produit, par la distance polaire d, de l'ordonnée ηh_2 comprise entre la ligne de fermeture bc et la portion bh_2c du polygone funiculaire.

$$\mu = \overline{\eta h_2} \times d$$

Le moment m est donc égal à :

$$m = (\overline{h_1 h_2} - \overline{\eta h_2}) \times d = \overline{h_1 \eta} \times d.$$

Si on fait la correction entre chaque poutrelle, on voit que le diagramme des moments de flexion est représenté par le polygone en traits mixtes *abcde*, ayant ses sommets sur les poutrelles. En ces points, les moments sont les mêmes que si les poutrelles étaient supprimées.

L'effort tranchant T au point H égal, à l'échelle des forces, à l'ordonnée $h_3 h_4$ comprise entre l'horizontale $\alpha_1\alpha$ (le point α étant déterminé en menant $o\alpha$ parallèle à ae), et le diagramme obtenu par le système des verticales des charges et des horizontales passant par les points de division de leur polygone.

$$T = \overline{h_3 h_4}$$

Traçons $o\gamma$ parallèle à bc, l'effort tranchant τ dans le longeron sera représenté par les ordonnées du même diagramme, mais comptées à partir de l'horizontale $\gamma_1\gamma_2\gamma$. Ainsi, au point H, on a

$$\tau = -\overline{h_4 r_{12}}$$

L'effort tranchant t est donc égal à

$$t = \overline{h_3 h_4} + \overline{h_4 r_{12}} = \overline{h_3 r_{12}}$$

il est constant dans l'intervalle BC.

Dans toute l'étendue de la poutre, le diagramme des efforts tranchants est figuré par le contour $\beta_1\beta_2\gamma_1\gamma_2\delta_1\delta_2\varepsilon_1\varepsilon$, que l'on obtient facilement dès que le polygone des moments est déterminé ; les ordonnées sont mesurées à partir de l'horizontale $\alpha_1\alpha$.

Remarque. — Si les longerons étaient supposés encastrés ou continus, les diagrammes des moments et des efforts tranchants auraient la même forme, avec cette différence que, sur les poutrelles, les moments seraient augmentés de ceux relatifs aux longerons en ces mêmes points.

2e Application. — *Cas d'une poutre reposant librement sur deux appuis et soumise à l'action de charges mobiles.*

Nous ne nous occuperons ici que de l'effort tranchant, et nous supposerons, comme cela a lieu pour les trains de chemins de fer, que les charges les plus lourdes et les plus rapprochées les unes des autres sont placées en tête du convoi. Dans ces conditions, l'effort tranchant maximum, pendant le passage du train, se produit toujours sous l'essieu de tête.

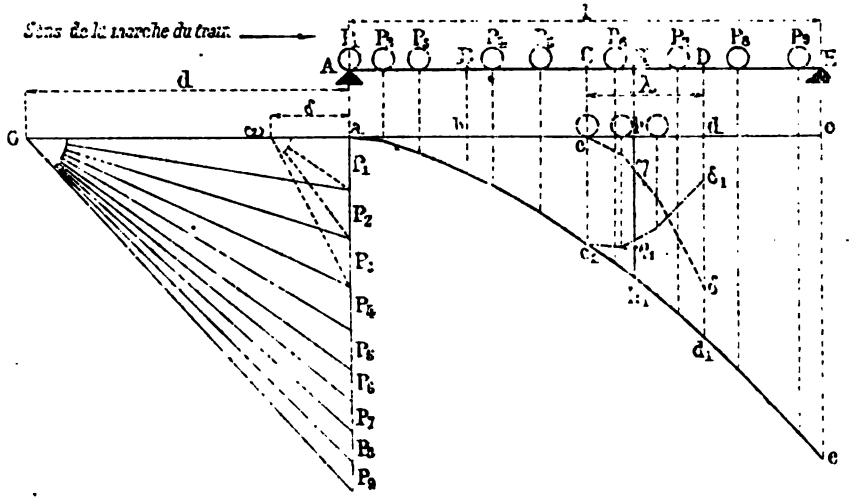


FIG. 3.

Plaçons le convoi de telle sorte que l'essieu de tête P_1 soit sur l'appui d'entrée (c'est-à-dire que le train est figuré en sens inverse de sa marche), et construisons un polygone funiculaire des charges $ab_1c_1d_1e_1$, avec une distance polaire d, le premier rayon polaire étant horizontal.

On sait que l'effort tranchant T en un point H de la poutre, quand la charge P_1 passe en ce point, est égal à

$$T = \frac{d}{l}\overline{hh_1}$$

Il faut en retrancher l'effort τ correspondant dans le longeron. Supposons celui-ci articulé, et opérons comme pour la poutre, mais en prenant une distance polaire $\delta = \frac{\lambda}{l}d$, λ étant la distance

entre les poutrelles C et D. (Si $\lambda = \frac{l}{n}$, on prendra $\delta = \frac{d}{n}$). On aura, au point H du longeron :

$$\tau = \frac{\delta}{\lambda} \overline{hn} = \frac{d}{l} \overline{hn},$$

d'où :

$$t = T - \tau = \frac{d}{l} (\overline{hh_1} - \overline{hn}) = \frac{d}{l} \eta h_1.$$

On peut porter $\overline{\eta h_1}$ à partir de l'horizontale ae, en $\overline{hn_1}$. Dans le panneau CD le diagramme des efforts tranchants sera limité par le contour $c_1\eta_1\delta_1$.

Les corrections dans les autres panneaux s'effectueront à l'aide du même petit polygone funiculaire $c\eta\delta$, si les poutrelles sont équidistantes.

Remarque. — La partie du théorème relative à l'effort tranchant est comprise implicitement dans celle relative au moment de flexion.

En effet, si x est l'abscisse, comptée d'une origine quelconque, de la section considérée, l'équation (2) donne :

$$(2') \qquad \frac{dm}{dx} = \frac{dM}{dx} - \frac{d\mu}{dx}.$$

Or, en raison des sens que notre démonstration du théorème attribue aux efforts tranchants et aux moments positifs, on a :

$$t = \frac{dm}{dx} \qquad T = \frac{dM}{dx} \qquad \tau = \frac{d\mu}{dx}$$

d'où on déduit l'équation (1).

L'équation (2'), qui est une autre forme de (1), peut s'appliquer aux arcs recevant l'action des charges par l'intermédiaire de longerons droits et de montants, à la condition de remplacer $\frac{dm}{dx}$ et $\frac{dM}{dx}$ par les dérivées partielles $\frac{\partial m}{\partial x}$ et $\frac{\partial M}{\partial x}$. On peut donc écrire :

$$(2'') \qquad \frac{\partial m}{\partial x} = \frac{\partial M}{\partial x} - \frac{d\mu}{dx}.$$

CHRONIQUE

N° 138

Sommaire. — Les chaudières tubulaires et le tirage forcé *(fin)*. — Le tirage naturel dans les chaudières marines. — Les aciéries allemandes. — Le prix du gaz en Angleterre. — Chemin de fer électrique. — Corrosion du fer et de l'acier.

Les chaudières tubulaires et le tirage forcé *(fin)*. — M. Yarrow a fait un certain nombre d'expériences dans le but de constater l'effet du chauffage et du refroidissement successifs d'une plaque tubulaire. Il a employé un tube de 80 *mm* de diamètre et de 1 1/2 *mm* d'épaisseur emmanché dans une plaque de 50 d'épaisseur. Ces proportions exagérées étaient choisies avec intention. On disposa autour de la plaque une feuille de tôle formant cercle avec contact étanche et cette sorte de réservoir plein d'eau fut placé sur un fer de forge, refroidi, réchauffé et ainsi de suite. A la huitième opération, le tube commença à fuir dans son emmanchement avec la plaque et à la dix-huitième les fuites devinrent telles qu'on ne put continuer. Que s'était-il passé? Le tube étant très mince tandis que la plaque était très épaisse, le premier s'échauffait beaucoup plus vite que la seconde. Il se dilatait donc, mais était retenu par la plaque qui ne se dilatait pas aussi vite, aussi le tube s'écrasait-il pour ainsi dire contre les parois du trou et on le trouva considérablement déformé.

On prit ensuite un tube plus épais, 3 *mm*, et une plaque plus mince, 10 1/2 *mm*. L'assemblage fut traité comme le précédent et put subir quarante opérations successives de chauffage et de refroidissement sans présenter la moindre fuite. Dans ce cas les épaisseurs des deux parties différant peu, l'échauffement était beaucoup plus uniforme et les dilatations moins différentes. Il faudrait donc égaliser le plus possible les épaisseurs; comme la nécessité de conserver aux tubes l'élasticité suffisante empêche de les faire trop épais, il s'ensuit qu'il faudrait réduire l'épaisseur de la plaque tubulaire au minimum compatible avec d'autres conditions pratiques. On emploie quelquefois des tubes d'acier avec des plaques de cuivre, et l'auteur l'a fait avec succès; mais le plus souvent, lorsqu'on emploie des tubes d'acier, on les raboute avec du cuivre rouge pour l'emmanchement dans la plaque tubulaire. Cette combinaison a l'avantage du joint plus parfait et de la dilatation longitudinale du tube sensiblement égale à celle de l'enveloppe du corps cylindrique.

Avec les plaques en acier on emploie toujours des tubes en acier et il ne semble pas qu'il y ait de raisons de faire autrement.

Il reste à examiner un point dans lequel se trouve probablement la cause la plus puissante de fuites pour les tubes, laquelle parait avoir échappé à peu près complètement aux constructeurs de chaudières ma-

rines. M. Yarrow a pris une plaque tubulaire en acier ayant 0,45 *m* de côté et 19 *mm* d'épaisseur, percée de 36 trous dans lesquels sont emmanchés des bouts de tubes. Des parois en tôle mince assemblées autour de la plaque forment une sorte de bac ou réservoir. On remplit d'eau ce bac et on le place sur un feu de forge. Voici ce qui se produit : la partie inférieure de la plaque se trouvant plus chauffée que la paroi supérieure qui est en contact avec l'eau se dilate plus et la plaque se courbe. On n'a pas pu apprécier exactement l'intensité du feu, mais les personnes présentes à l'expérience ont estimé que la température était notablement inférieure à celle d'un foyer de chaudière marine brûlant à tirage forcé. Comme on l'a vu plus haut, la plaque se cintrait, mais non d'une manière insignifiante, la flèche était de plus de 35 *mm*.

Dans une chaudière, les choses ne se passent pas ainsi ; la plaque tubulaire ne peut pas se cintrer, elle doit rester plane ou à peu près; qu'arrive-t-il alors ?

Tout le monde sait probablement ce que fait un charron lorsqu'un cercle de roue est devenu trop lâche et ne serre plus la jante. Il chauffe le cercle au rouge, celui-ci se dilaté, on le plonge ensuite sur la moitié de sa hauteur dans l'eau, la partie immergée se refroidit et, par conséquent, se contracte ; mais comme elle ne peut le faire sans entraîner la partie supérieure qui est encore rouge, il se fait un compromis entre les deux parties. Au refroidissement complet la partie supérieure se contracte encore et acquiert ainsi un diamètre un peu inférieur à celui qu'elle avait précédemment à froid. Si on renouvelle l'opération en retournant le cercle, et en la répétant plusieurs fois au besoin, on arrive à réduire au taux nécessaire le diamètre du cercle.

Cet exemple est donné pour faire voir quels sont les changements de forme que peut amener dans une pièce métallique une inégalité de chauffage de ses divers points. Revenons à notre plaque tubulaire.

Les deux parois de cette plaque chauffées à des degrés très différents sont obligées de prendre une certaine position intermédiaire. Au refroidissement, la paroi en contact avec l'eau ne change pas sensiblement de température ; mais la surface du côté du foyer tend à se contracter ; gênée par l'autre, elle prend une nouvelle position intermédiaire et le résultat de ces compromis successifs est que, si la plaque a une notable épaisseur, elle se déforme complètement ; les trous des tubes s'ovalisent les uns en long et les autres en travers. Le sujet peut encore être considéré à un autre point de vue. Si on prend une tôle de 20 *mm* d'épaisseur par exemple, et qu'on la courbe un certain nombre de fois tantôt dans un sens tantôt dans l'autre, il est certain qu'on arrivera à altérer complètement le métal. Il en sera de même si, au lieu de cintrer la plaque, on l'empêche d'obéir à des efforts de dilatation ou de contraction qui tendent à la cintrer. C'est ce qui se passe chaque fois qu'on ouvre la porte du foyer ; la plaque tubulaire tend à se cintrer et ne peut pas obéir; si on pense que l'ouverture de la porte dans une grosse chaudière de bateau à tirage forcé à lieu souvent une fois par minute, soit 1 440 fois par vingt-quatre heures, il est facile de comprendre que la plaque tubulaire d'une chaudière semblable est soumise à une fatigue permanente extraordinaire.

Voici une expérience qui le démontre bien. L'auteur a pris une tôle maintenue plane, mais avec liberté de se dilater dans un sens.

La partie inférieure est successivement chauffée et refroidie tandis que la paroi supérieure est toujours en contact avec de l'eau. Cette plaque a 38 *mm* d'épaisseur et est percée d'un trou parfaitement alésé de 80 *mm* de diamètre. Elle est disposée de telle sorte qu'on peut envoyer à volonté sous elle un jet d'air chaud et un jet d'air froid, alternativement. Après cinquante opérations successives, on trouve que le trou est déformé, il s'est allongé de 1/2 *mm* dans le sens longitudinal et s'est réduit d'autant dans le sens transversal, ceci sur la face supérieure, la face inférieure étant beaucoup moins altérée. Il est certain que cet effet est d'autant moindre que l'épaisseur de la plaque sera moins forte.

C'est un argument de plus en faveur de l'emploi de plaques tubulaires de faible épaisseur relative. Il est certain que, surtout avec l'acier, les constructeurs de chaudières marines continueront à éprouver des déboires en faisant des plaques tubulaires épaisses. Il est probable que le maximum d'épaisseur doit être de 12 1/2 *mm*, une plus grande épaisseur n'est plus compatible avec le tirage forcé et l'auteur croit que si on était assez hardi pour descendre à 9 ou 10 *mm*, on n'aurait pas lieu de le regretter. Il n'y a aucune raison pratique pour que cette dernière épaisseur ne soit pas suffisante.

En ce qui concerne la portée de contact entre les tubes et la plaque, tous les ingénieurs savent que pour faire un bon joint de vapeur il suffit d'un très faible contact, la quantité indiquée ci-dessus, 9 à 10 *mm*, est plus qu'il ne faut. Quant à la résistance, il n'est aucune partie d'une chaudière qui soit aussi fortement entretoisée qu'une plaque tubulaire où les tubes sont beaucoup plus rapprochés que les entretoises des parois verticales et du ciel du foyer.

A propos de l'emploi de l'acier pour les foyers, M. Webb a appelé l'attention de l'auteur sur la modification dans la nature de l'acier qu'amène l'intensité de la combustion. Il semble que l'acier absorbe continuellement du carbone et devient cassant à la longue. Des fissures dans la plaque tubulaire et les parois des foyers en acier ont été souvent constatées dans les chaudières à tirage forcé.

On a souvent proposé et même essayé de recouvrir les plaques tubulaires d'un enduit mauvais conducteur du calorique. C'est plutôt une pratique temporaire qu'un procédé permanent et on ne doit y avoir que peu de confiance, parce que, si l'enduit se détache par places, les parties découvertes sont chauffées et la dilatation inégale fait plus de mal que si la surface totale de la plaque était exposée au feu. On a quelquefois employé des procédés de ce genre pour permettre à des chaudières de subir les essais; mais c'est une pure illusion que de chercher à obtenir dans les expériences de recette d'un appareil des résultats qu'on ne pourra plus reproduire dans la pratique journalière sans que les chaudières ne viennent à fuir par tous les côtés.

On dispose les tubes en files verticales ou en quinconce; avec ces derniers on peut avoir un écartement de 25 *mm* entre les tubes au lieu de 21. Au point de vue des fuites, cette disposition paraît également préférable. On objecte, il est vrai, que la plaque se trouve affaiblie dans

trois sens et qu'il se forme trois lignes de moindre résistance; mais l'affaiblissement est moindre que celui qui a lieu dans deux sens seulement avec les rangées verticales. Si on tient compte de la tendance que la plaque éprouve à se courber ainsi qu'il a été expliqué ci-dessus, on comprend qu'il est désirable de laisser entre les trous la plus grande section possible de métal, à condition que cette section ne soit pas obtenue par l'épaisseur de la plaque.

L'exactitude du raisonnement qui précède peut être démontrée par l'exemple suivant. Si on prend deux barres de fer et qu'on fasse à l'une trois encoches de 20 *mm* de profondeur et à l'autre deux encoches de 25, la première supportera une charge transversale plus forte que la seconde.

On a vu plus haut qu'une plaque tubulaire a, par suite de la différence des températures de ses deux faces, une tendance manifeste à se cintrer. Dans le choix du métal à employer pour ces plaques, on doit avoir égard au plus ou moins de facilité qu'aura la matière à subir cet effet. Voici une expérience de nature à jeter quelque lumière sur ce point.

Prenons deux plaques semblables, par exemple, de 0,60 *m* de longueur, 0,05 *m* de largeur, et 25 *mm* d'épaisseur. Chaque plaque porte deux talons disposés pour faire voir le degré de courbure que prennent les plaques lorsqu'elles se cintrent. On dispose sur la face supérieure de chacune un petit réservoir en laiton très mince contenant de l'eau et l'on chauffe les plaques en dessous par des becs de gaz. L'expérience faite comparativement montre que la plaque d'acier est beaucoup plus sensible aux variations de température que la plaque de cuivre et que sa courbure se modifie beaucoup plus lorsqu'on allume ou éteint les becs de gaz.

La plus grande conductibilité du cuivre lui assure à ce point de vue une supériorité incontestable, confirmée d'ailleurs par la pratique de la construction des locomotives dans presque tous les pays. Le cuivre se dilate plus que l'acier dans le rapport de 3 à 2, mais sa conductibilité est supérieure dans celui de 6 à 1. On peut donc estimer sa valeur comparative au point de vue qui nous occupe comme étant dans le rapport de 12 à 3, c'est-à-dire 4 fois celle de l'acier. L'auteur a mis des foyers en cuivre dans les chaudières de tous les torpilleurs qu'il a construits tant pour l'amirauté que pour les gouvernements étrangers, et il n'a aucune raison de le regretter. Il s'est donné beaucoup de peine pour connaître les résultats obtenus de l'emploi de l'acier pour les foyers de locomotives aux États-Unis et ces recherches l'ont convaincu qu'on a beaucoup plus d'ennuis avec les fuites de tubes de l'autre côté de l'Atlantique que de celui-ci. Pour les chaudières de torpilleurs, en tous cas, la question s'est nettement tranchée en faveur du cuivre; la seule objection est le prix supérieur de la matière; mais si on considère qne l'excès de dépense d'établissement peut être évalué à 2 à 4 0/0 sur le prix total du bateau armé, on peut se demander si cette faible différence doit entrer en ligne de compte en présence de la sécurité qu'on obtient et de la possibilité de pouvoir, en cas d'urgence, réaliser, sans courir le risque d'avaries, la puissance maxima et la vitesse dont on peut avoir besoin.

On a quelquefois fait à l'emploi des foyers en cuivre l'objection de l'action galvanique qui peut être produite par le contact de métaux différents. L'expérience a prouvé que cette action, si elle existe, est tout à fait insignifiante et ne saurait nullement contre-balancer les avantages de l'emploi des foyers en cuivre. En fait, cet emploi se répand de plus en plus pour les torpilleurs.

Au cours de ce travail, l'auteur a surtout insisté sur la nécessité de laisser de l'élasticité aux divers assemblages d'une chaudière tubulaire de manière que celle-ci puisse se prêter, dans une certaine mesure, aux changements de forme amenés par les variations plus ou moins brusques de la température. Sans cette élasticité on ne peut avoir que des mécomptes. C'est la condition capitale avec l'emploi de matières de toute première qualité. Seulement ces soins et ces précautions se payent et l'économie dans le prix des chaudières qu'on est trop porté à rechercher dans notre époque d'âpre concurrence, ne peut conduire qu'à des échecs déplorables.

Le tirage naturel dans les chaudières marines. — Le tirage forcé, appliqué d'abord sur de très petits bâtiments où il avait toute sa raison d'être, a été peu à peu étendu à d'autres classes de navires tels que les plus grands paquebots transatlantiques pour lesquels on peut se demander si on avait tiré tout le parti possible du tirage naturel. Voici un fait intéressant au sujet de cette question :

MM. Denny frères, de Dumbarton, viennent de fournir à la Union Steamship Company pour le service entre l'Angleterre et le Sud de l'Afrique, un paquebot appelé le *Scot*, qui est de très grandes dimensions, 153 *m* de longueur totale, 140 *m* à la flottaison, 16,40 *m* de largeur et 11,44 *m* de creux. La coque est construite sur le principe cellulaire. Il y a deux hélices mues chacune par une machine à triple expansion. La puissance collective est de 8000 chevaux indiqués à 75 tours, mais peut être portée à 12000. La vapeur est fournie à 12 *kg* de pression par 6 chaudières doubles comportant ensemble 36 foyers de 1,115 de diamètre et desservies par deux énormes cheminées à section ovale de 4,05 *m* sur 2,75 *m*.

Ce que le *Scot* présente de particulier, c'est la hauteur de ses cheminées dont le couronnement s'élève à 36,60 *m* au-dessus des grilles, hauteur tout à fait inusitée; en effet, les plus hautes cheminées des paquebots transatlantiques ne dépassent pas 29,50 *m*, la hauteur moyenne est de 23 à 25 *m* et on en rencontre beaucoup de 18 à 20 *m*.

La grande élévation donnée aux cheminées du *Scot* avait pour but de permettre d'avoir un fort tirage sans moyens artificiels et on paraît y avoir pleinement réussi, car on a obtenu une dépression de 19 *mm* d'eau et dans l'essai officiel du 8 juin dernier à Stoke's Bay, le *Scot* a réalisé une vitesse de 19,6 nœuds en développant 11656 chevaux.

On nous permettra de rappeler ici ce que nous disions en 1869 avec B. Normand (Conditions de travail et utilisation des machines à vapeur marines, Mémoires et Comptes rendus des travaux de la Société des Ingénieurs civils, 1869, page 479) : « Dans les chaudières marines, la hauteur des cheminées est presque toujours limitée comme suit, se-

lon les diverses puissances : à 10 *m* pour les petits appareils de 30 à 50 chevaux (nominaux), à 15 *m* pour ceux de 150 à 200 chevaux. Ce n'est généralement que au-dessus de 400 et 500 chevaux que les cheminées atteignent 20 *m* et l'un des plus importants avantages des grands appareils moteurs des paquebots transatlantiques est d'avoir des cheminées de 25 *m;* ces hauteurs sont naturellement comptées à partir de la grille.

» On peut évaluer les éléments statiques du tirage dans les chaudières marines comme suit en millimètres d'eau. »

HAUTEUR des CHEMINÉES	TEMPÉRATURE DE LA FUMÉE		
	300°	400°	500°
10 *m*.	6	6 1/2	7
15 *m*.	9	10	11
20 *m*.	12	14	15
25 *m*.	15	17	19

Ces chiffres coïncident bien avec les 19 *mm* réalisés par les cheminées de 36 *m* du *Scot* pour une température comprise probablement entre les extrêmes du tableau.

Des expériences faites en Écosse sur des chaudières fixes ont indiqué que 19 *mm* de tirage permettaient de brûler par heure 145 *kg* de combustible de bonne qualité par mètre carré de surface de grille. Nous allons voir que ce chiffre est largement suffisant.

Le diamètre des foyers du *Scot* est de 1,115. En prenant la longueur ordinaire de 5 1/2 pieds, soit 1,677, chaque foyer aurait une surface de 1,87, soit 67 m^2, en négligeant les fractions, pour la surface totale des trente-six grilles. Avec une combustion de 145 *kg* par mètre carré de grille et par heure, c'est un total de 9 700 *kg* de combustible par heure, correspondant, pour 12 000 chevaux indiqués, à un peu plus de 800 *g* de combustible par cheval indiqué et par heure, chiffre assurément très réalisable avec des machines à triple expansion de cette puissance, et on doit remarquer que 12 000 chevaux sont un maximum qu'on n'a pas à réaliser en service courant.

Il serait donc parfaitement possible, d'après ce qui précède, de supprimer pour les grands paquebots les coûteux et encombrants engins du tirage forcé pour les remplacer par l'addition, presque sans frais, de 10 ou 12 *m* de cheminées. Avec des consolidations très simples (chaque cheminée du *Scot* a 16 haubans) cette addition ne présente aucune difficulté.

Les objections contre les cheminées élevées ont toujours été des objections de sentiment provenant des traditions de la marine à voile; on cherchait, sur les navires à hélice, à dissimuler la présence d'un moteur interne.

Avec les bâtiments de guerre, il y avait une apparence de raison à faire les cheminées basses; cependant, on avait remarqué, il y a déjà bien des années, que l'allongement de 3 *m* des cheminées du *Bellérophon*

avait permis de réaliser la vitesse projetée après plusieurs essais infructueux.

On a objecté aux cheminées élevées qu'il est moins facile de modérer le tirage pour réduire la vitesse, par exemple par un très mauvais temps. Il n'y a aucune difficulté à réduire le tirage par des registres ou par la fermeture partielle des cendriers, comme cela se fait journellement, et il y a toujours un grand avantage à pouvoir disposer d'un tirage énergique sans l'intervention d'appareils mécaniques encombrants et toujours sujets à se déranger et à manquer au moment où on s'y attend le moins.

On a d'ailleurs, toujours la ressource d'employer les cheminées télescopiques qui ont été très en usage à une certaine époque.

Les aciéries allemandes. — Il y a actuellement en Allemagne 22 aciéries possédant 83 convertisseurs et dont la capacité totale de production annuelle est de 1 700 000 tonnes d'acier Bessemer ou Thomas. Ces aciéries se répartissent, entre les divers États de l'Allemagne, de la manière suivante : La Prusse compte 17 usines avec 71 convertisseurs pouvant produire annuellement 1 450 000 *t* d'acier, ce qui représente sensiblement les 85 centièmes de la production ne laissant que 15 0/0 aux autres. La Bavière a 2 aciéries avec 4 convertisseurs et une production de 100 000 *t*; l'Alsace-Lorraine, 2 usines avec 6 convertisseurs et 92 000 *t*, et la Saxe, une seule aciérie avec 2 convertisseurs et 60 000 *t*.

Les aciéries prussiennes sont ainsi réparties : provinces rhénanes, 8 usines, 37 convertisseurs et 700 000 *t*; Westphalie, 5 usines, 20 convertisseurs et 460 000 *t*; Hanovre, 2 usines, 8 convertisseurs et 160 000 *t*, et enfin la Silésie avec 2 usines, 6 convertisseurs et une production annuelle de 130 000 *t*.

Le prix du gaz en Angleterre. — On sait que le prix du gaz est très variable en Angleterre d'une ville à l'autre. Voici, d'après l'*Engineer*, les chiffres extrêmes pour les éclairages effectués par des compagnies gazières. Le plus bas prix, en 1890, a été à Plymouth, 0,075 *f* par mètre cube, et le prix le plus élevé à Watton-on-the-Naze, 0,33 *f*.

Pour le gaz fourni par les municipalités, on trouve en bas 0,07 *f* à Leeds, et au sommet de l'échelle 0,28 *f* à Bethesda, dans le pays de Galles. Un fait digne de remarque est que, si à Plymouth, avec le gaz à 0,075 *f*, et à Leeds avec 0,07 *f*. on réalise un bénéfice, la ville de Bethesda ne couvre pas ses frais avec le tarif de 0,28 *f* par mètre cube.

A New-York, le gaz coûte actuellement 0,22 *f* le mètre cube; les consommateurs seraient heureux de se voir en communication par une conduite avec Plymouth.

Chemin de fer électrique. — On vient d'inaugurer en Suisse la petite ligne à voie étroite et à traction électrique de Sissach, station du Central, à Gelterkinden, dans le canton de Bâle-Campagne. Cette ligne est affectée au service des voyageurs et des marchandises. L'écartement des rails est de 1 *m*. La longueur totale est de 3 250 *m*.

Sur les deux tiers du parcours, la voie est posée sur l'accotement de

la route qui relie les deux localités de Sissach et de Gelterkinden, mais sur le reste, elle emprunte un tracé spécial. Le plus petit rayon des courbes est de 60 *m* et l'inclinaison maxima de 15 0/0.

La force est fournie par une chute d'eau, située à 1 500 *m* de Sissach, où se trouve une dynamo actionnée par une turbine. Le courant, de 30 ampères et 700 volts, passe dans les rails d'où, par les roues, il arrive à deux dynamos placées sur la locomotive et dont chacune actionne un essieu indépendant, par une transmission retardatrice dans le rapport de 4 à 1. Les dynamos font normalement 480 tours par minute, ce qui correspond à 120 pour les essieux de la locomotive. Des dynamos le courant revient à la station par un conducteur aérien placé le long de la voie. La vitesse est de 15 à 20 *km* à l'heure. Le matériel se compose de 4 voitures à voyageurs, 4 wagons à marchandises et 1 locomotive. Nous avions vu, il y a quelque temps, cette locomotive en construction dans les ateliers de la Société de construction mécanique de Bâle. L'installation paraît fonctionner d'une manière très satisfaisante.

Corrosion du fer et de l'acier. — On a fait tout dernièrement, en Angleterre, quelques expériences pour constater la corrosion du fer et de l'acier en présence de certains agents chimiques. On a pris un morceau de tôle de fer et un morceau de tôle d'acier Bessemer et, après les avoir nettoyés, décapés et pesés, on les a placés dans un mélange d'argile et de sable additionné de certains sels, tels que carbonate et nitrate de soude, chlorhydrate d'ammoniaque et chlorure de magnésium, la terre étant maintenue humide. On a fait cette opération le 16 mars 1891.

M. F.-H. Williams, chimiste des forges de Riverside à Wheeling, qui a fait ces expériences, a retiré les plaques au bout de trente-deux jours, il les a pesées après les avoir bien nettoyées; on a trouvé une diminution de poids de 0,84 0/0 pour le fer et 0,72 pour l'acier. Les plaques ont été remises de nouveau dans le mélange précédent et, après une nouvelle période de vingt-huit jours, on les a pesées de nouveau. La perte de poids totale, par corrosion, correspondant à un séjour collectif de soixante jours dans la terre imprégnée de sels, s'est trouvée de 2,06 0/0 pour le fer et de 1,79 pour l'acier.

COMPTES RENDUS

ANNALES DES PONTS ET CHAUSSÉES

FÉVRIER 1891

Notice nécrologique sur M. CHARIÉ-MARSAINES, Inspecteur général des ponts et chaussées, par M. GUILLEMAIN, Inspecteur général, Directeur de l'École des ponts et chaussées.

Notice sur les travaux de construction **d'usines élévatoires et de réservoirs**, exécutés de 1880 à 1889 pour améliorer l'alimentation d'eau à Paris, par M. BECHMANN, Ingénieur en chef des ponts et chaussées.

Le service des eaux de Paris est divisé en deux parties : le service privé auquel sont affectées les eaux de source, Dhuis et Vanne, et le service public alimenté par les eaux de la Seine et de la Marne, celles du canal de l'Ourcq et des anciennes dérivations (Prés-Saint-Gervais, Arcueil), ainsi que les eaux des puits artésiens.

En 1878, Paris disposait d'un débit quotidien maximum de 397 000 m^3, dont 127 000 pour le service privé.

L'outillage servant à cette alimentation se composait de douze usines élévatoires d'une puissance totale de 2 130 chevaux, dont six à vapeur sur la Seine : Port-à-l'Anglais, Maisons-Alfort, Austerlitz, Chaillot, Auteuil et Saint-Ouen, une grande usine mixte sur la Marne à Saint-Maur, deux usines hydrauliques sur la Marne en amont et en aval de Meaux, et trois autres mues par la Vanne et servant à relever une partie des sources basses captées dans la vallée au niveau de l'aqueduc où l'eau des sources hautes coule par l'effet de la gravité. L'approvisionnement se faisait dans treize réservoirs d'une capacité totale de 434 000 m^3, dont 330 860 pour le service privé. Enfin, trois usines de relais, Montmartre, Ourcq et Ménilmontant, relevaient une partie du volume d'eau pour alimenter les réservoirs élevés de Montmartre, des Buttes-Chaumont et de Belleville, pour le service des étages supérieurs de la distribution.

En 1879, M. Alphand, ayant été chargé du service des eaux après la mort de Belgrand, proposa un programme consistant à augmenter de 20 000 m^3 le débit de la Vanne par l'addition de sources accessoires et à se procurer 130 000 m^3 d'eau de Seine en construisant trois nouvelles usines élévatoires à vapeur. On obtiendrait ainsi un total de 70 l d'eau de source et 200 l d'eau de rivière par habitant et par jour, ce qui paraissait devoir répondre à tous les besoins pour une période assez longue. Ce programme est aujourd'hui réalisé avec quelques modifications.

Les trois nouvelles usines à vapeur construites sont celles d'Ivry, de Javel et de Bercy.

L'usine d'Ivry, construite en amont et non loin du pont de ce nom, c'est-à-dire avant le confluent de la Marne dont on voulait éviter les eaux souvent troubles et jaunâtres, contient dix chaudières tubulaires à deux corps superposés du type Farcot dont deux de rechange et six machines Farcot composées chacune d'un cylindre horizontal à distribution genre Corliss modifié actionnant par un balancier coudé une pompe verticale à deux corps.

La dépense de cette installation, y compris l'achat des terrains, s'est élevée à 2 275 *f* par cheval-vapeur utile dont 786 *f* pour la partie mécanique et 1 489 *f* pour les terrains, bâtiments et accessoires.

L'usine de Javel destinée à élever de l'eau de Seine dans le réseau desservi par l'eau du canal de l'Ourcq, afin de renforcer la pression très affaiblie dans la partie de ce réseau la plus éloignée du bassin de la Villette, c'est-à-dire dans la partie basse du XV^e^ arrondissement, comporte trois chaudières semi-tubulaires de la maison Meunier, de Lille, et deux machines horizontales type Wheelock, construites par M. de Quillacq, actionnant des pompes également horizontales fournies par MM. Schneider et C^ie^, du Creusot. Ces machines peuvent élever ensemble 25 000 m^3 d'eau par vingt-quatre heures à une hauteur de 25 *m*, pertes de charges comprises.

La dépense d'établissement a été de 114 000 *f* pour les machines, 151 000 *f* pour les bâtiments, prise d'eau et accessoires et 360 000 *f* en nombre ronds pour les conduites de refoulement et les galeries destinées à les recevoir.

L'usine de Bercy est établie au quai de la Rapée en face du pont d'Austerlitz. Elle comporte huit générateurs multitubulaires, type Roser et quatre machines horizontales type Wheelock de M. de Quillacq actionnant directement des pompes Girard.

La dépense totale s'est élevée à 927 000 *f* dont 392 000 pour les appareils mécaniques et générateurs.

Ce chiffre correspond à 1 945 *f* seulement par cheval utile, résultat très remarquable et sensiblement inférieur aux prévisions.

La note décrit encore sommairement l'usine de Laforge qui a pour objet de venir en aide, en cas de sécheresse, aux usines hydrauliques de la Vanne, celle de Maillot qui élève dans l'aqueduc de la Vanne les eaux de la dérivation de Cochepies, et la nouvelle machine à vapeur ajoutée à l'usine de Saint-Maur, machine Farcot commandant directement une pompe Girard.

Il a été fait en outre des travaux importants aux usines de relais. L'usine de l'Ourcq, à l'angle du boulevard de la Villette et de la rue Lafayette, a reçu une quatrième machine laquelle est à balancier et a été fournie par M. Farcot.

L'usine de Ménilmontant a vu ses anciennes machines insuffisantes remplacées par deux machines à balancier de M. Windsor.

L'usine de Montmartre établie place Saint-Pierre comprend trois machines dont deux Weyher et Richemond horizontales actionnent directement des pompes Girard, tandis que la troisième est une machine Worthington horizontale et sans volant fournie par la maison Powell.

A Montrouge, on a, le réservoir de la Vanne dont le trop plein est à la

cote de 80 *m* ne pouvant desservir à tous les étages les maisons du quartier de Plaisance, installé à côté du réservoir de Montrouge deux petites machines à vapeur qui refoulent l'eau de ce réservoir dans une bâche métallique où l'eau atteint la cote 89.

Les travaux de réservoir comprennent : le deuxième compartiment du réservoir de Gentilly, d'une capacité de 4 400 m^3 ; le réservoir de Villejuif, de 25 873 m^3, dont l'établissement a coûté 57 *f* par mètre cube emmagasiné, prix élevé qu'il faut attribuer à l'importance des déblais et à l'existence du radier évidé.

La bâche d'équilibre du boulevard Jourdan est un appareil automatique placé dans la courette d'un poste-caserne du boulevard Jourdan et destiné à fournir de l'eau au réservoir de Gentilly toutes les fois qu'il est nécessaire, en ouvrant la communication avec les conduites de Villejuif. Le principe est l'action d'un flotteur qui, lorsque le plan d'eau baisse de 0,50 *m* dans le réservoir, ouvre une soupape de grand diamètre et la referme lorsque le niveau du réservoir se rétablit.

On a construit à Grenelle, pour recevoir l'eau refoulée par l'usine de Javel, un réservoir découvert de 6 300 m^3 de capacité, qui est revenu à 56 *f* par mètre cube emmagasiné.

L'ouvrage le plus important est le réservoir de Montmartre, dont les fondations ont été établies au moyen d'un radier général établi sur les sables supérieurs, et répartissant la pression de manière à la réduire à un taux admissible.

Ce réservoir a 11 000 m^3 de capacité; il a coûté 1 139 000 *f*, ce qui met le prix par mètre cube logé à 103,50 *f*, prix exceptionnellement élevé qu'expliquent l'importance des fondations. la décoration des façades et la division des services. Il y a, en effet, cinq bassins divisés en deux groupes, dont le plus bas reçoit l'eau de rivière, tandis que le groupe supérieur est destiné à l'eau de source. De plus, en raison de la forme irrégulière et peu favorable du terrain, l'ouvrage présente en plan des dispositions assez compliquées.

Liste des récompenses obtenues à l'Exposition universelle de 1889 par le Ministère des Travaux publics et par ses agents dans les différents groupes.

Note sur quelques exemples d'**oxydation des ponts en tôle,** par M. Baldy, Ingénieur des Ponts et Chaussées.

Un de ces exemples est le cas du pont de Palavas, construit en 1851 sur le canal du Grau du Ley, à une faible distance de la mer. Ce pont, de 18 *m* d'ouverture, a des arcs en forme de caisson. Les tôles de 6 *mm* de ces caissons ont été en partie détruites par la rouille, au point qu'on a dû étayer les arcs pour prévenir la chute du pont.

Un second exemple est emprunté au pont tournant de Frontignan, construit en 1860 sur le canal des Étangs, en poutres droites à section en double T. Les âmes verticales, de 6 *mm* d'épaisseur primitive, ont été complètement perforées par la rouille. Cet ouvrage, situé, comme le premier, à une faible distance de la mer, était. comme lui, peint au goudron.

MARS 1891

Note sur les **types fondamentaux de poutres métalliques** et sur le système cantilever, par M. J. GAUDARD, Ingénieur civil, professeur à l'École d'Ingénieurs de Lausanne.

Dans ce mémoire très remarquable, l'auteur recherche si les nombreux systèmes de ponts américains sont vraiment et foncièrement des types caractéristiques, et s'il est exact que leur emploi comporte en lui-même des économies de 10 à 30 0/0, comparativement aux systèmes usuels en France.

Un examen consciencieux amène à reconnaître que dans les types divers de ponts métalliques, si on écarte le mirage de certaines dispositions secondaires d'une portée économique nulle ou contestable, on ne trouve que des principes fondamentaux simples et dès longtemps connus.

Tant qu'on n'a pas précisé et expliqué en quoi consistent les mérites intrinsèques attribués à des ouvrages nouveaux, une application particulière ne paraît pas suffisamment probante, car elle peut avoir bénéficié de circonstances extérieures et ne constitue pas un guide sûr, qu'il n'y ait qu'à suivre en connaissance de cause.

L'encastrement d'une poutre, la solidarisation de travées continues, sont des opérations dont l'avantage ressort de lui-même, en ce qu'elles diminuent l'aire des moments fléchissants sous des portées et des charges données. L'emploi de supports capables de soutenir des poussées obliques indique nettement aussi un certain profit réalisable, en ce qu'il permet de supprimer la corde d'un arc. Les grandes hauteurs de poutres, à la condition que la rigidité soit assurée, la variabilité éventuelle de la hauteur aux divers points d'une travée, les inclinaisons favorables des barres de treillis et la suppression des tiges verticales sont autant de conditions encore dont les formules théoriques font saisir l'utilité, et si ces formules sont complétées par l'adjonction de coefficients pratiques tenant compte des sujétions d'assemblage et de raidissement, il en ressort que toute disposition de nature à réduire ces coefficients aura son prix. Ici interviennent les formes de sections de pièces comprimées, les dispositions des attaches et le débat entre la rivure et l'articulation. Tout pris en considération, pour construire des ponts aussi légers que possible, il semble qu'il n'y ait guère à innover ; le point est de bien appliquer les règles connues, de calculer strictement et de savoir rogner tous accessoires superflus.

Voici, pour M. Gaudard, les conditions typiques ou les alternatives fondamentales ayant une influence sérieuse sur l'économie constitutive de fermes résistantes ou de poutres de ponts, à égalité de portées, de charges, de qualité de métal, de hardiesse, d'exactitude de calcul, de simplicité ou de luxe, de sujétions de hauteur ou autres :

— Appuis à réactions verticales ou à réactions obliques ;
— Appuis simples ou à encastrement ;
— Ame pleine ou en lattice ;
— Lattice à 45° ou à inclinaisons quelconques, avec ou sans barres verticales ;

— Mode d'assemblage, nœuds articulés ou rivés ;
— Treillis en fers plats ou en barres rigides ;
— Hauteur constante ou hauteur variable ;
Et, en outre, en cas de travées multiples :
— Travées indépendantes ou solidaires ;
— Continuité complète ou articulations en certains points en dehors des piles.

Le système *cantilever* ou à consoles se présentant comme un concurrent des poutres continues à travées multiples dont il ne diffère essentiellement que par des coupures ou articulations rendant fixes certains points d'inflexion, la discussion économique consiste à chercher s'il est susceptible de réduire davantage l'ordonnée moyenne du contour enveloppe des moments fléchissants. On a vu qu'il n'y a guère de bénéfice à réaliser de ce côté. Ce système présente, il est vrai, une aptitude spéciale pour le montage en porte à faux, parce qu'il n'a pas les exigences de précision de pose d'une poutre à continuité complète, mais encore cette dernière peut-elle s'y prêter avec certaines mesures de précaution.

Le cantilever est d'un calcul simple et sûr et la liberté de mouvement de ses charnières l'affranchit des perturbations éventuelles de résistance, fléau des poutres continues en cas de tassement inégal des appuis ou de calage mal réglé. Bien que la rigidité dans les liaisons donne plus de corps contre les ébranlements, il ne semble pas que des articulations placées au bon endroit, soutenues par de hautes consoles, et appuyées dans le sens latéral par un bon contreventement, aient à redouter trop de déformations et de soubresauts sous les charges roulantes. Cet ordre d'idées, auquel se rattache également la triple articulation dans une arche métallique, montre combien les Ingénieurs appelés à construire des ouvrages gigantesques se préoccupent d'éliminer les liaisons arbitraires susceptibles d'entacher d'erreur leurs prévisions et d'insécurité leurs travaux.

Pour les fermes colossales, il est nécessaire de faire varier la hauteur le long des portées. Sans cela il y aurait une disproportion démesurée de force entre les sections d'encastrement et celles d'inflexion. On se représenterait mal le pont du Forth remplaçant ses consoles par des poutres droites. Toutefois, les hauteurs ne sont nullement astreintes à suivre une loi géométrique, et une variation logique n'implique pas formellement l'existence de ponts amincis jusqu'à devenir pivotants.

Pour un tablier très long, on peut sentir le besoin de répartir la dilatation sur un plus grand nombre de points que sur les deux extrémités seulement. Le premier pont de Dirschau avait la continuité interrompue de deux en deux piles ; mais, reportant ces coupures sur des points d'inflexion pris en dehors des appuis, le système cantilever est bien mieux inspiré.

Comme on peut reprocher aux poutres articulées l'ampleur de leur fléchissement, le calcul des déformations y présente un intérêt spécial. M. Gaudard en a donné les formules avec une application empruntée au pont de Forsmo, en Suède, construit en 1888 par l'usine de Motala.

Note sur les **sondages du lac Léman**, par M. A. DELEBECQUE, Ingénieur des ponts et chaussées,

Ces opérations avaient pour but de rendre la topographie du lac Léman aussi complète dans la partie française qu'elle l'est dans la partie suisse. On a opéré en déterminant préalablement un certain nombre de profils espacés de 200 à 300 *m* et autant que possible normaux à la côte.

Le bateau sondeur portait un treuil avec une poulie de 1 *m* de circonférence dont un compteur indiquait le nombre de tours. Un fil d'acier passait sur la poulie et portait à son extrémité un poids de 6 à 8 *kg*. Un contrepoids déclenchait le compteur dès que le plomb touchait le fond. L'espacement des sondages augmentait à mesure qu'on s'éloignait du rivage. Près des bords, il était de 10, 20, 30 *m* pour arriver à 100, 200 et 300 *m* au milieu du lac. On déterminait la direction du bateau au moyen d'une planchette installée sur la rive par un opérateur et sur laquelle étaient reportés les points trigonométriques de la triangulation. Le mât du bateau étant gradué, l'opérateur de terre pouvait, avec les fils stadimétriques dont la lunette de l'alidade de la planchette était munie, connaître exactement la distance de terre du bateau le long d'un profil donné et reporter sur la planchette la position de chaque sondage.

Il a été pris dans les eaux françaises 4 338 coups de sonde ; le nombre total sur toute la superficie du lac Léman est de 11 000, soit environ 20 par kilomètre carré.

Il a été recueilli de nombreux échantillons des vases du fond du lac, desquelles un certain nombre ont été analysées. On constate que le limon du lac est plus siliceux dans la partie orientale et plus calcaire dans la partie occidentale, ce qui s'explique facilement parce qu'à l'est le Rhône dépose ses alluvions provenant de massifs cristallins, tandis que les rivières qui se jettent dans la partie à l'ouest proviennent de montagnes renfermant de grandes masses calcaires.

Note sur les **sondages du lac d'Annecy**, par MM. DELEBECQUE et LEGAY, Ingénieurs des ponts et chaussées.

La méthode employée pour opérer les sondages est la même que celle qui a servi pour le lac Léman, mais comme on n'avait pas ici la triangulation suisse, il a fallu se servir de la triangulation française, fort défectueuse en Savoie, et il a fallu passer beaucoup de temps à la compléter.

On a relevé 3 339 points, soit 123 en moyenne par kilomètre carré ; cette grande proportion tient au peu de largeur du lac.

Cette note contient, comme la précédente le vœu de voir faire le plus tôt possible la revision de la carte de l'état-major dans les Alpes. L'échelle de 1/80 000 est beaucoup trop petite et les hachures devraient être remplacées par des courbes de niveau. Si cette revision ne se fait pas, dit M. Delebecque, le terrain sous l'eau sera beaucoup mieux connu que le terrain hors de l'eau.

Bulletin des accidents arrivés dans **l'emploi des appareils à vapeur** pendant l'année 1889.

Ce Bulletin a déjà paru dans les *Annales des Mines ;* voir comptes rendus de Mai 1891, page 712.

Note sur les **inconvénients de l'emploi de certains désincrustants** dans les chaudières à petits éléments, par M. Olry, Ingénieur en chef des Mines.

Cette note a déjà paru dans les *Annales des Mines* ; voir comptes rendus de Mai 1891, page 712.

SOCIÉTÉ DE L'INDUSTRIE MINÉRALE

District du Sud-Est

Séance du 8 mars 1891.

Lampes électriques de mineurs. — Une commission avait été nommée pour suivre les essais de lampes électriques de mineurs aux mines de Rochebelle,

Les lampes présentées aux essais étaient au nombre de quatre, savoir : Stella, Pollak, Breguet et Edison. Les lampes Pollak et Edison ne satisfaisaient pas, telles qu'elles étaient présentées, aux conditions de l'emploi et on a dû demander aux constructeurs de les modifier ; la lampe Edison notamment n'était pas une lampe portative, mais simplement transportable.

La lampe Breguet, telle qu'elle est construite, ne saurait être mise entre les mains des ouvriers ; son maniement n'est pas commode, il y a trop de cuivres extérieurs ; les connexions avec l'ampoule ne sont pas suffisamment isolées, les sels grimpants qui se forment rongent très rapidement les fils qui les établissent et il en résulterait un entretien considérable. Mais il y a un progrès réel, et bien que cette lampe soit encore d'un poids élevé, on se trouve en présence de résultats qui sont, au point de vue de l'intensité lumineuse et à celui de la durée de l'éclairage, très remarquables. Il est à espérer qu'après quelques corrections on arrivera à la solution du problème.

La lampe Stella, telle qu'elle est, peut être mise entre les mains de l'ouvrier. Aussi la C^ie^ de Rochebelle en a commandé un certain nombre pour en faire l'essai d'une manière pratique. Le prix de ces lampes est de 30 *f.* On est obligé, jusqu'à présent, de les faire venir d'Angleterre.

RÉUNIONS DE SAINT-ÉTIENNE

Séance du 2 mai 1891.

Applications diverses de l'électricité dans les mines. — Il s'agit de notes adressées par M. Rossigneux et extraites de diverses publications anglaises et américaines.

La première, extraite du journal *Industries*, décrit une locomotive électrique Thomson-Houston, construite pour une houillère de Pensylvanie ; elle pèse 5 600 *kg* et reçoit le courant d'un câble suspendu le long des parois des galeries. Elle peut trainer 93 *t*, soit 18 1/2 fois son propre poids, l'inclinaison maxima est de 1 0/0.

On emploie en Angleterre et en Amérique des haveuses mues par l'électricité, ainsi que des perforatrices actionnées par le même moteur dont le rendement est plus élevé que celui de l'air comprimé; de plus, la pose des conducteurs est plus facile et moins coûteuse que celle d'une canalisation étanche.

On a installé en 1888 dans une houillère à Normanton (Angleterre), une pompe élevant 545 *l* par minute à 275 *m*. Cette pompe, à pistons différentiels, fait 25 tours par minute ; elle est actionnée par une dynamo faisant 450 tours, laquelle reçoit, par un câble de 900 *m*, le courant d'une autre dynamo faisant 450 tours également, actionnée par par une machine à vapeur tournant à 134 tours ; le courant est de 65 ampères et 603 volts. Le travail de la pompe étant de 31,5 chevaux et celui de la machine à vapeur (travail indiqué) de 73, le rendement total ressort à 43,1 0/0.

A Aspen (Colorado) existe, depuis 1888, une installation de pompes mues par l'électricité avec un conducteur de 2 225 *m*. Une installation plus puissante y a été faite depuis pour l'éclairage électrique, la mise en action de ventilateurs, de perforatrices, de treuils et d'une locomotive. La puissance totale est de 1 200 chevaux.

La note décrit encore divers systèmes de perforateurs, de haveuses et de locomotives électriques.

Note de M. JULES GARNIER sur un **dispositif de machine compound tandem,** applicable aux locomotives.

Cette communication est relative à une note remise par l'auteur, en 1875, à la Compagnie des chemins de fer de l'Est, pour proposer l'emploi dans les locomotives d'une disposition Woolf avec cylindres en prolongement. La distribution se ferait par deux tiroirs sur la même glace ; le tiroir du petit cylindre est à proprement parler une simple plaque. Le rapport de volume des cylindres est de 1 à 3. La tige commune sortirait de chaque cylindre par un presse-étoupe, les deux cylindres étant suffisamment écartés pour cela.

Note de M. MAUSSIER sur la **fabrication métallurgique de l'aluminium et de ses alliages.**

La base de cette méthode est la réduction de l'alumine en présence du charbon par un métal réducteur, tel que l'antimoine, donnant un

oxyde volatil. Le silicium de l'argile serait éliminé par la fluorine à l'état de fluorure de silicium.

Application des sondages à l'aérage des mines grisouteuses. C'est une réponse de M. Raveaud aux observations de MM. Leseure et Tauzin, faites à propos de sa méthode dans la précédente séance.

Programme de la **course géologique de l'École des mines de Saint-Étienne**, du 20 au 28 juin 1891.

Ce programme comporte la traversée du massif du Pilat, l'étude des terrains quaternaire, tertiaire et secondaire dans la plaine du Bas-Dauphiné, l'exploration du massif subalpin de la Grande Chartreuse, etc.

Communication de M. Rateau sur le **recuit électrique des fils d'acier.**

On emploie depuis deux ans à la manufacture d'armes de Saint-Étienne le courant électrique pour le recuit du fil d'acier servant à faire les ressorts du fusil modèle 1886. Ces ressorts sont en fil d'acier de 0,7 *mm*, coupé en tronçons de 3,20 *m* de longueur. Le fil est enroulé en ressort à boudin et on y fait passer un courant de 45 volts et 23 ampères ; l'echauffement est rapide ; lorsqu'il est jugé suffisant, on interrompt le circuit et on laisse tomber le ressort dans une bâche d'eau. Le recuit se fait de la même manière; il se fait au jaune. Un ouvrier met deux ou trois minutes pour recuire 20 ressorts et en fait 2 400 par jour. Il semble que le recuit par l'électricité, grâce à sa propreté et à son prix de revient très faible, puisse s'appliquer à bien des cas analogues à celui qui vient d'être indiqué.

Compte rendu, par M. Chanssezle, du **cours de machines**, de M. Haton de la Goupillière.

Notice sur le **nombre, les salaires et la durée du travail des ouvriers des mines**, en 1890.

Ces renseignements, fournis par les Ingénieurs des mines, en exécution d'une circulaire ministérielle du 5 juin 1890, ont été coordonnés et condensés par les soins de l'administration, et sont consignés dans un tableau qui indique par région : 1° le nombre des ouvriers de diverses catégories employés à l'intérieur et à l'extérieur des concessions ; 2° leurs salaires moyens journaliers ; 3° l'évaluation des avantages accessoires qui leur sont attribués ; 4° les heures de travail effectif et de présence sur les chantiers par jour. On a adjoint à ces renseignements le montant du salaire moyen annuel de l'ouvrier, sans distinction de classe, calculé d'après le nombre des journées de travail effectuées en 1889.

Le tableau est divisé, d'après les substances extraites des concessions, en cinq parties, sous les rubriques : combustibles minéraux, minerais de fer, autres minerais, substances diverses, sel.

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS ALLEMANDS

N° 23. — 6 *juin* 1890.

Le tirage forcé et son emploi dans les chaudières marines, par E. Lechner.

Le chemin de fer à crémaillère de la côte occidentale de Sumatra, par A. Kuntze.

Considérations sur le développement de l'emploi des appareils hydrauliques de levage en Allemagne, au sujet des nouvelles installations des ports francs de Brême et de Hambourg, par A. Ernst *(suite)*.

Groupe de Carlsruhe. — Le chemin de fer à navires de Chignecto.

Groupe de Cologne. — État actuel de l'industrie de la distillation des grains et de la fabrication de la levure.

Groupe de la Ruhr. — Transport par câbles. — Voies pour chemins de fer sur routes.

Réunion du printemps de l'Institut du fer et de l'acier *(fin)*.

Bibliographie. — Mécanique des moyens de transport et des chemins de fer.

Variétés. — Petites industries du fer en Amérique.

N° 24. — 13 *juin* 1891.

Considérations sur le développement de l'emploi des appareils hydrauliques de levage en Allemagne, au sujet des nouvelles installations des ports francs de Brême et de Hambourg, par Ad. Ernst *(suite)*.

Nouvelle station centrale d'éclairage électrique de Providence (États-Unis), par R. Volkmann.

Chemin de fer souterrain à Londres, par L. Troske *(suite)*.

Groupe d'Aix-la-Chapelle. — Écoles réales avec classes spéciales. — Classification des charbons lavés. — Profondeur de pénétration de la gelée.

Groupe de Berlin. — Indicateur universel automatique de niveau, de Seibt-Fuess.

Groupe de Thuringe. — Moulage à sec des tuiles et autres pièces céramiques. — Inspection industrielle.

Variétés. — Wagon américain couvert pour 27 *t* de charge.

Bibliographie. — Thermodynamique appliquée.

N° 25. — 20 *juin* 1891.

Ordre du jour de la XXXII[e] assemblée générale de l'association.

Considérations sur le développement de l'emploi des appareils hydrauliques de levage en Allemagne, au sujet des nouvelles installations des ports francs de Brême et de Hambourg, par Ad. Ernst *(suite)*.

Moments de résistance des fers en Z, par A. Magendorf.

Tiroirs cylindriques pour locomotives, par M. Kuhn.

Croiseur-torpilleur n° 1, de la marine des États-Unis, par Goereis.

Perfectionnement à l'appareil Dervaux pour l'épuration des eaux.

Groupe d'Aix-la-Chapelle. — Action du froid.

Bibliographie. — Teinture et blanchiment des filés, par J.-J. Hummel.

Variétés. — Le canal de la mer du Nord. — Appareil pour presser les lingots.

Réunion des délégués des associations allemandes d'ingénieurs et architectes.

N° 26. — 27 *juin* 1891.

Développement technique des Compagnies de navigation « Lloyd de l'Allemagne du Nord » et « Hambourgeoise-Américaine », par R. Haack et C. Busley *(suite)*.

Considérations sur le développement de l'emploi des appareils hydrauliques de levage en Allemagne, au sujet des nouvelles installations des ports francs de Brême et de Hambourg, par A. Ernst *(suite)*.

Le tirage forcé et son emploi dans les chaudières marines, par E. Lechner *(fin)*.

Métallurgie. — L'argent, par C. Schnabel.

Groupe de la Leuve. — Nouvelle source de force et possibilité de son emploi dans les petits moteurs.

Correspondance. — Sur la limite réalisable de vitesse pour la traversée entre l'Europe et les États-Unis.

Pour la Chronique et les Comptes rendus :
A. Mallet.

TABLE DES MATIÈRES

TRAITÉES DANS LE 1er SEMESTRE, ANNÉE 1891.

(Bulletins)

Adjudication de travaux à exécuter à Madrid et à Barcelone (Avis de l') (séance du 6 février) 93

Aluminium *(Métallurgie de l')*, par M. Ch. Haubtmann; observations de MM. P. Regnard, D.-A. Casalonga, et lettre de M. J.-H. Guasco (séances des 3 et 17 avril), mémoire . . . . . 335, 344 et 396

Aluminium et ses alliages *(L')*, par M. A. Spiral, et observations de MM. Ch. Haubtmann, P. Regnard et S. Jordan (séance du 3 avril), mémoire . . . . . 340 et 507

Antheximètre *(L')*, par M. E. Pettit (séance du 6 mars), mémoire, 194 et 293

Association des Industriels de France *(Lettre de M. le Directeur de l')* (séance du 17 avril) 345

Câbles sous-marins *(Industrie des)*, par M. E. Vlasto (séance du 20 mars), mémoire . . . . . 207 et 277

Centenaire de la loi des 7 janvier et 25 mai 1791, lettres de M. D.-A. Casalonga (séance du 1er mai) 571

Chemin de fer électrique *(Nouveau système de)*, par M. J.-J. Heilmann (séance du 20 février), mémoire . . . . . 105 et 149

Chemin de fer électrique *(Discussion du nouveau système de)* de M. J.-J. Heilmann, par MM. R. Arnoux, Ch. Haubtmann, J.-J. Heilmann, E. Coignet et A. de Bovet (séance du 17 avril) 345

Chroniques des mois de janvier, février, mars, avril, mai et juin, nos 133 à 138 . . . . . 50, 165, 309, 543, 700 et 847

Commission pour l'étude de l'unification des méthodes d'essais des matériaux, lettre de M. Gay, directeur général des chemins de fer, et nomination des délégués (séance du 5 juin) 728

Comptes-rendus des mois de janvier, février, mars, avril, mai et juin . . . . . 60, 177, 319, 558, 711 et 855

Concours pour la transmission et la distribution d'une force motrice de 12 500 chevaux-vapeur aux chutes du Niagara (séance du 16 janvier) 18

Concours pour un projet de gare à Varsovie (séance du 6 février) 93

Concours pour l'éclairage de Sofia par l'électricité (séance du 1er mai) 570

Concours pour deux ponts à construire au Canada (séance du 1er mai) 571

Congrès de navigation maritime et fluviale de Manchester, par M. J. Fleury (séance du 6 février). 94

Congrès géologique international à Washington (séance du 6 mars) 192

Congrès de l'Association française pour l'avancement des sciences à Marseille (séance du 5 juin) 730

Décès : de MM. A. Cahen, O. Geoffroy, C. Laurens, A.-J.-M. Saillard, V. Fournier, J.-B. Albaret, J. Armengaud, F. von Schmidt, E. Reynier, E.-J.-J. Furno, L. Vasset, A. Jauge, H. Love, O. Sevry, V. Despret, L. Valentin, M. Redon, P.-V. Capdevielle, A. Léon, G. Lepeudry, L.-E. Chaize, F.-T. Dubost, S. Gauthier, R. Gentilini, J.-P. Séverac, J. Hawkshaw, Ch. Mlodecki (séances des 16 janvier, 6 et 20 février, 6 et 20 mars, 17 avril, 1er et 15 mai, 5 et 19 juin). . . 5, 91, 101, 190, 203, 344, 570, 584, 727 et 745

Décorations françaises :

CHEVALIERS DE LA LÉGION D'HONNEUR : MM. J.-A. Bellet, E. Deligny, A. Brüll, A. Lebargy et A. Roques.

OFFICIERS D'ACADÉMIE : MM. A. Béthouart, A. Bloche, C.-M. Chassevent, J.-E. Chauveau, H.-A. Farjas, P.-Ch. Gassaud, G.-G. Guerbigny, J.-J. Heilmann, J.-L. Logre, Ch.-V. Taconnet, G. Dehenne, P. Forsans et Ch. Mardelet.

CHEVALIERS DU MÉRITE AGRICOLE : MM. AUG. Moreau et V. Rose.

Décorations étrangères :

COMMANDEUR DE SAINT-STANISLAS DE RUSSIE : M. E. Ravasse.
COMMANDEUR DE CHARLES III D'ESPAGNE : M. A.-L.-Ch. Vernes.
CHEVALIER — M. L. Appert.
OFFICIER DU CAMBODGE : M. E.-J. Coutelier.

(Séances des 16 janvier, 6 février, 20 mars, 17 avril, 5 et 19 juin) . 18, 93, 203, 345, 727 et 745

Discours de M. E. Polonceau, Président de la Société (séance du 20 mars). 200

Discours de M. le ministre des Travaux publics (séance du 20 mars). 201

Discours de M. A. Brüll (séance du 20 mars) 203

Don de bons provenant de l'emprunt de 75 000 *f* (séances des 16 janvier, 6 février, 6 et 20 mars) . . . . . 18, 93, 191 et 204

Échange de plusieurs marchandises entre elles, par M. L. Walras. 42

Éclairage électrique de Londres et les hautes tensions, par M. Ch. Haubtmann (séance du 5 juin). 736

Emprunt de 75 000 *f* en 1889 *(Tirage des bons à rembourser et rappel du remboursement des bons de l')* (séance du 19 juin) 751

Épuration des eaux par le procédé Anderson, à Boulogne-sur-Seine *(Note et visite à l'usine d')*, par M. H.-E. Pettit (séance du 5 juin). 731

Errata à l'Annuaire de 1891 564

Excursion en Hollande (séance du 5 juin) 730

Exposition internationale d'électricité à Francfort-sur-le-Mein le 15 mai 1891 (séance du 20 février). 103

Exposition à Budapest (séance du 6 mars). 191

Exposition internationale du travail (séance du 15 mai) 585

Gaz dynamogène et ses applications, par M. H. Guyon, et observations de MM. P. Jousselin et A. Lencauchez (séances des 1er et 15 mai) . . . . . 581 et 585

Habitations ouvrières à l'Exposition de 1889, par M. Cacheux (séances des 20 février et 3 avril), mémoire . . . . . 106, 131 et 334

Installation des membres du Bureau et du Comité (séance du 16 janvier). 4

Irrigations *(Les)*, par M. Tresca (séance du 20 février) 103

Lettre de M. Armengaud aîné fils (à propos d'une rectification à la notice de M. Armengaud Jacques) (séance du 20 février) 102

Lettre de M. Poillon au sujet des brevets au Mexique (séance du 20 février) 102

Lettres de M. Robineau au sujet d'une applicaton des tubes Mannesmann, et de **M. Chaudy** relative à la communication de M. Durant sur l'unification des méthodes d'essais des matériaux (séance du 3 avril). 344

Machines à vapeur et obtenir l'arrêt rapide des transmissions *(Moyens de prévenir l'emballement des)*, par M. G. Thareau. . . 20

Machine de torpilleur, lettre de M. A. Normand et observations de M. D.-A. Casalonga, séance du 6 février) 93

Machines à vapeur *(Maximum théorique du rendement direct et absolu des)*, par M. D.-A. Casalonga, et discussion par MM. G. Richard, R. Arnoux, D.-A. Casalonga et Bertrand de Fontviolant (séances des 6 mars, 5 et 19 juin), mémoire. . . . . 195, 260, 735 et 755

Maisons à bon marché *(Construction de)* (séance du 20 février) . . 103

Matériaux de construction *(Unification des méthodes d'essai des)*, compte-rendu des conférences de Munich, Dresde et Berlin, par M. E.-L. Candlot, et observations de M. E. Polonceau (séance du 6 février), mémoire . . . . . 96 et 112

Matériaux *(État de la question de l'unification des méthodes d'essais des)*, par M. L.-A. Durant (séance du 20 mars), mémoire . . . . . 204 et 219

Matériel fixe à l'Exposition de 1889, lettre de M. H. Mathieu, président de la Commission (séance du 6 mars) 191

Membres nouvellement admis. . . . . 3, 89, 189, 331, 569 et 725

Mines de nickel, cuivre et platine du district de Sudbury (Canada), par M. J. Garnier (séance du 6 mars), mémoire . 197 et 239

Nomination de membres du Comité consultatif des chemins de fer (séance du 20 février). 102

Nomination de membres du Conseil supérieur du travail (séance du 20 février). 102

Notice nécrologique sur M. H. Love, par M. H. Bobin. 163

Notice nécrologique sur M. E. Reynier, par M. A. Moreau. . . 305

Ouvrages, mémoires et manuscrits reçus. 1, 86, 186, 330, 566 et 722

Paquebot transatlantique La Touraine *(Note sur le)*, par M. P. Jousselin (séance supplémentaire du 26 juin). 769

Paris port de mer *(Projet de)*, par M. Bouquet de la Grye, et observations de MM. E. Badois, R. Le Brun et J. Fleury (séance supplémentaire du 26 juin) 773

Planches nos 28 à 43.

Pont sur la Manche *(Résultat des études et sondages faits pendant l'année 1890 dans la Manche en vue du projet d'établissement d'un)*, par M. G. Hersent (séance du 6 mars) 192

Pont Washington sur le Harlem River, note sur l'ouvrage de M. A. Hutton, par M. Pontzen (séance du 5 juin) 728

Port de Pasajes *(Observations au sujet du)* (séance du 17 avril) . . . 345

Ports de mer et des voies de communication, canaux, rivières et chemins de fer *(Outillage des)*, par M. J. de Coëne, et lettre de M. Douau (séances des 17 avril et 1er mai) . . . . . 355 et 570

Port de Novorossisk *(Accident arrivé au pont roulant du)*, analyse d'une note de M. Yankowsky, par M. P. Regnard (séance du 19 juin). 754

Prix de 2 000 f décerné à M. Cadiat par l'Institut (séance du 16 janvier). 18

Prix Plumey, décerné à M. J.-E. Boulogne, par l'Académie des Sciences (séance du 16 janvier) 18

Prix Nozo. *(Désignation des jurés du)* (séance du 6 février) 94

Prix de la Société d'Encouragement, décernés à MM. E. Candlot, L. Knab, N. Raffard, T. de Brochocki, L. Malo (séance du 5 juin). . 728

Prix annuel de la Société (médaille d'or), décerné à M. Auguste Normand (séance du 19 juin) 752

Prix Nozo (médaille d'or), décerné à MM. L. Durant et Lencauchez (séance du 19 juin). 752

Procédé au minerai ou « Ore Process » au four Siemens-Martin, par M. A. Pourcel, et observations de MM. P. Regnard, J. Euverte, A. Lencauchez, et lettres de MM. P. Charpentier et A. Pourcel (séances des 1er et 15 mai et 19 juin), mémoire. 576, 585, 595 et 742

Procédé Bérard *(Observations au sujet du)*, par M. S. Jordan, et lettre de M. P. Charpentier (séances des 5 et 19 juin). . . . . 726 et 743

Publications périodiques reçues par la Société *(Liste des)*. . . 69

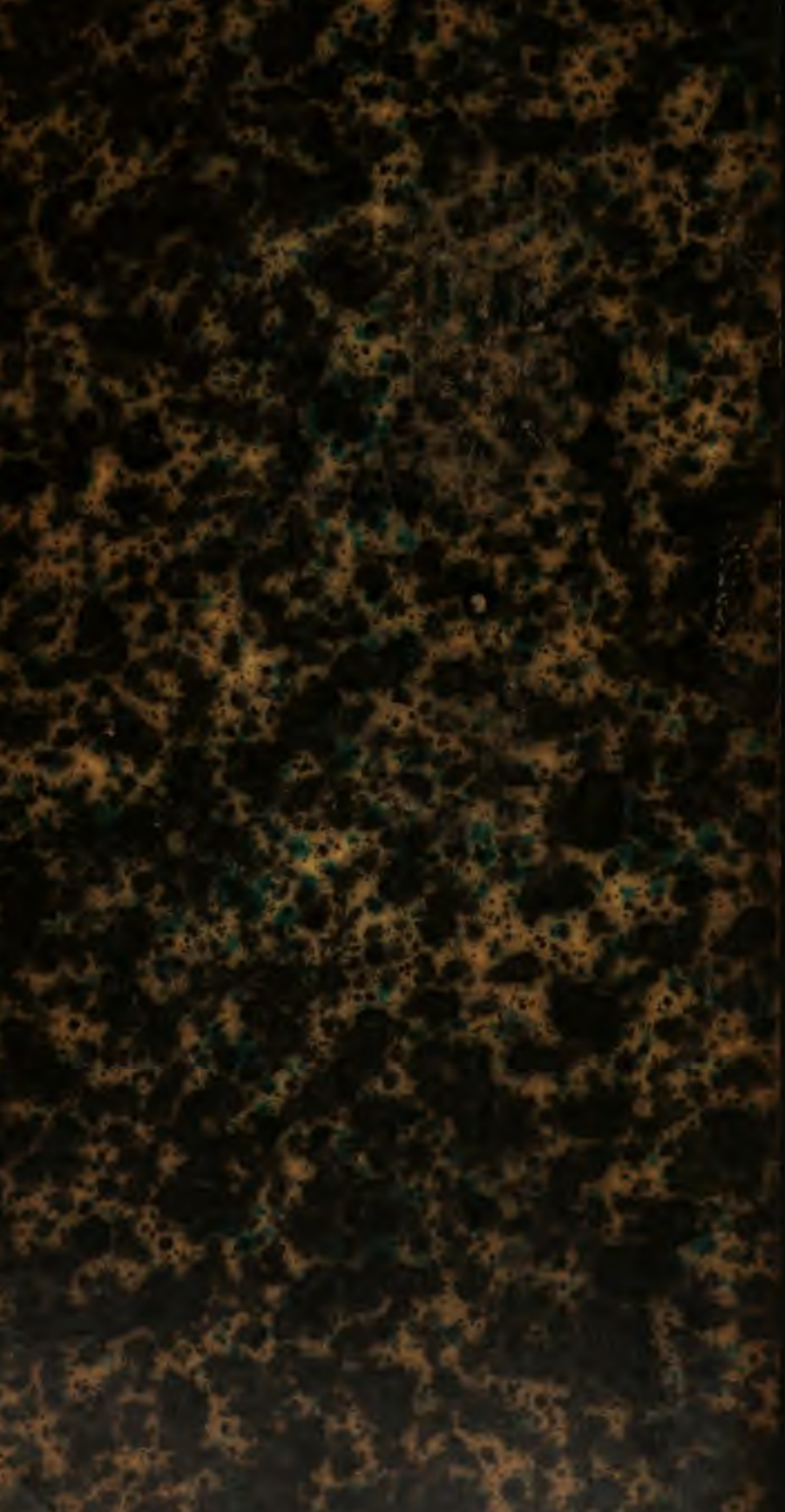
Question ouvrière dans les pays étrangers *(La)*, par M. E. Gruner (séance du 20 mars), mémoire . . . . . 209 et 211

Rectifications au procès-verbal de la séance du 20 mars (séance du 3 avril). 333

Situation financière de la Société *(Rapport de M. le Trésorier sur la)* (séance du 17 juin) 745

Sondeur Bellocq *(Note sur le)*, par M. H. Chevalier (séance du 19 juin). 752

Statuts *(Propositions de modifications aux)* (séance du 6 mars). 192

Transmission de force par l'électricité, par M. O. Buron (séance du 15 mai), mémoire. . . . . 587 et 633

Transmissions électriques, par M. A. Hillairet (séance du 15 mai), mémoire . . . . . 589 et 643